



Traditionell markkartering i precisionsodling

- Sammanställning av markkarteringsstatistik 1998-2002

Mats Söderström

Förord

Denna rapport är en utvidgad slutrapport för projektet ”Den traditionella markkarteringens användbarhet för precisionsodling”. Projektet har finansierats av Stiftelsen Lantbruksforskning (SLF, projektnr 9933055). Större delen av arbetet utfördes under perioden 1999-2004. Av olika anledningar blev projektets slutförande försenat. Ett tack riktas till AnalyCen Nordic (nuvarande Eurofins) för samarbete vad gäller underlag för den statistiska sammanställningen av markkarteringsanalyser.

Rapporten består av fyra delar: dels huvudtexten, som beskriver datavariationen inom fält där man gjort markkartering i olika delar av landet samt nya metoder som eventuellt kan förbättra markkarteringen, och dels tre bilagor A-C. I bilaga A redovisas en sammanställning av över 200.000 jordanalyser i matjordsprover som togs under åren 1998-2002 i Mellan- och Sydsverige. I bilaga B visas hur stort överskottet av P-, K- och kalk blir på de delar av en gård där behovet enligt markkartan är lägre än medelbehovet, om man sprider en jämn giva. Slutligen i bilaga C redogörs för en undersökning som beskriver hur väl man lyckas fånga inomfältsvariation genom en enkel zonindelning av ett fält med hjälp av en marksensor som mäter markens elektriska ledningsförmåga.

Innehållsförteckning

Förord	3
Innehållsförteckning	4
Bakgrund	5
Metoder och material.....	5
Variogramanalys	5
Dataunderlag	7
Ny mätmetodik för undersökning av inomfältvariation	8
Resultat och diskussion.....	8
Sammanställning av markkarteringsdata på blocknivå.....	8
Förhållandet nugget:sill.....	9
Interpolation över gränser för olika strata	10
Provtagningsavstånd.....	11
Metoder för att hantera analyser i vartannat prov	13
Slutsatser.....	15
Referenser	15

<i>Bilaga A. Sammanställning av markkarteringsstatistik 1998-2002.....</i>	<i>A1</i>
---	------------------

<i>Bilaga B. Behov och effekt av medelgiva av P, K och kalk – sammanställning av data från 32 gårdar i Mellansverige</i>	<i>B1</i>
---	------------------

<i>Bilaga C. Indelning av jordbruksskiften i brukningszoner med hjälp av markens ledningsförmåga – skillnader i markegenskaper och skörd inom tre skiften i Västergötland</i>	<i>C1</i>
--	------------------

Bakgrund

Precisionsodling innebär att bl a gödslingsnivåer optimeras lokalt till grödans behov med hänsyn taget till skördepotential och markens förmåga att leverera näring – men även till andra faktorer som t ex risk för miljöpåverkan (Stafford, 2000). Under det senaste decenniet har teknik och tillämpningar utvecklats och börjat användas i allt större omfattning (ref). Det bygger på att man använder GPS och digitalt kartstöd med koppling till styrning av lantbruksmaskiner. Tekniken kan användas både inom ekologisk och konventionell odling och är vid rätt användning ett verktyg för den uthålliga i odlingen. Något generellt genomslag har dock inte precisionsodling fått bland jordbrukarna. Orsakerna kan variera, men praktiska svårigheter att hantera data och utrustning och otydlighet vad gäller den ekonomiska nyttan är två anledningar. Det behöver dock inte vara förknippat med stora ekonomiska investeringar att sätta igång med att tillämpa precisionsodling. En god kännedom om hur markens egenskaper varierar inom gården anses normalt vara grunden för att anpassa åtgärderna till det lokala behovet, och en stor del av den svenska åkermarken är karterad genom den vanliga markkarteringen. Egentligen handlar det om att använda den information som finns tillgänglig. Markkarteringen kom igång redan under 1940-talet. Karteringen har tydliggjort att tillgången på fosfor, kalium och andra näringsämnen ofta varierar inom fälten. Trots den relativt regelbundna karteringen under mer än 50 år har de rumsliga variationerna i t ex P-AL inte jämnats ut utan det är mycket vanligt med en avsevärd variation inom fältet (Söderström et al., 2005). Dagens rekommendationer för markkartering finns redovisade i Jordbruksverket, 2002. Traditionellt har man tagit ett prov/ha av matjorden, där varje prov är ett samlingsprov som består av 7-10 delprover insamlade med jordborr i en cirkel med 3-5 m radie. I precisionsodlingssammanhang eftersträvas att odlingsåtgärderna anpassas till förutsättningarna på varje del av fältet. En markkartering där man avser tillämpa precisionsodling bör således göras så att detta är möjligt. Styrfiler för varierad spridning görs genom interpolation av markkarteringsdata. Syftet med detta projekt har varit att sammanställa markkarteringsdata så att det blir möjligt att undersöka hur den lokala variationen ser ut i olika delar Sverige. En annan fråga är om den vanliga markkarteringen är tillräcklig för att man ska kunna interpolera dessa – fångar man upp den lokala variationen med karteringen? Dessutom beskrivs några olika metoder som kan användas för att förbättra möjligheterna att interpolera data från den befintliga karteringen.

Metoder och material

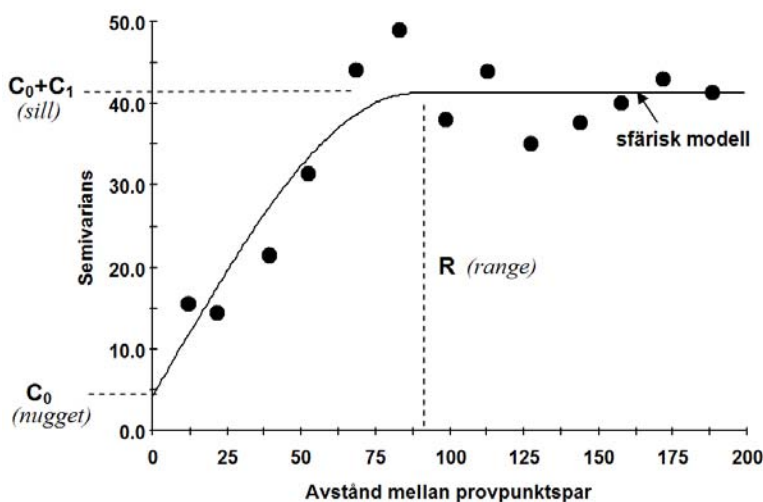
Variogramanalys

Kriging anses vara den interpolationsmetod som ger bäst resultat (t ex McBratney & Pringle, 1997). Geostatistik ses ofta som en synonym till kriging, som kan sägas vara en statistisk interpolationsform. På motsvarande sätt som vid enkel avståndsviktning, som är den vanligaste metoden, viktas omgivande observationspunkter då man vill beräkna ett värde för ej provtagna platser. Skillnaden är att viktningen här är mer sofistikerad eftersom viktningen bestäms av variogrammets utseende (figur 1). Variogrammet styrs av observationspunkternas värde och dess rumsliga fördelning, och kriging kan därför sägas vara en optimal interpolationsmetod. Ett variogram beskriver den rumsliga korrelationen (autokorrelationen) mellan observationspunkterna. I variogrammet plottas provpunktspär i olika avståndsintervall mot den kvadrerade medeldifferensen i värde mellan provpunktsparen inom avståndsintervallet (figur 1). Normalt krävs ganska många observationer (tumregeln är >50 provpunkter (Burrough & McDonnell, 1998))

för att man ska kunna skapa ett korrekt variogram och det är det som gör att det kan vara svårt att använda kriging när det handlar om en vanlig markkartering för en gård. Antalet provpunkter kan vara för litet. Vid ett visst avstånd (*range*, R) ökar inte semivariansen längre. Inom detta avstånd finns ett statistiskt samband mellan provpunkter. Osäkerhet vid analyser eller för glesst mellan provpunkter kan ge sig till känna som *nugget* (C_0). Den nivå där variogrammet planar ut benämns *sill*, C_0+C_1 .

Vad betyder variogrammet

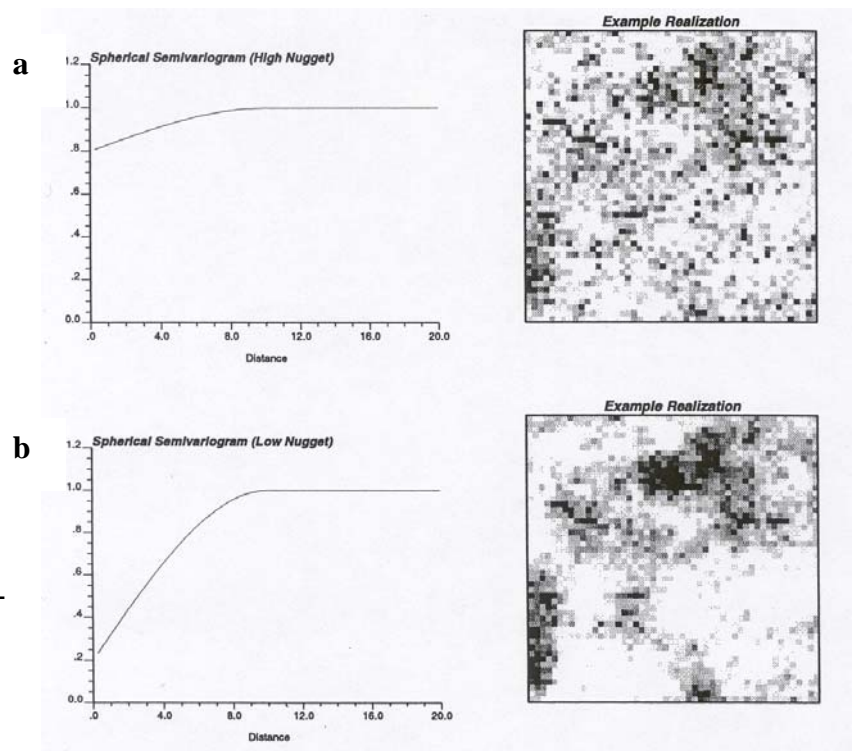
En högre *nugget* betyder större del av den uppmätta variationen som inte kan förklaras av mätdata. I figur 2 visas två exempel på hur variogrammet kan se ut vid olika typer av rumslig variation. Förhållandet $C_0/(C_0+C_1)$ ger ett mått på varierande förutsättningar för en lyckad interpolation (Burrough & McDonnell, 1998). Om C_0 närmar sig 100% av (C_0+C_1) så är all interpolation meningslös och man kan lika gärna använda medelvärdet för fältet, d v s minskat avstånd mellan provpunkter gör inte att värdena blir mer lika. Man inser lätt att även provtagningsstrategin är viktig om en yta som den i figur 2a ska karteras. Många delstick i ett prov är nödvändigt om analysvärdet ska vara ett medelvärde för den provtagna ytan.



Figur 1. Ett variogram är ett diagram som beskriver en variabels rumsliga variation. Om observationer som ligger nära varandra är mer lika än de som ligger längre ifrån varandra så kan modellvariogrammet se ut ungefär så här.

Lokala variogram och automatiserad analys

En variogramanalys görs ofta för ett helt dataset. Variogrammet ger då en bild av medelvariation för datasetet. Emellertid kan denna variation variera inom den provtagna ytan och då kan ett lokalt variogram, d v s ett variogram som skapas av data i ett delområde, bättre beskriva den lokala variationen (Minasny et al., 1999). Här har en mjukvara (Vesper) utnyttjats som skapats för detta ändamål (Minasny et al., 1999) som utan kostnad kan hämtas via Internet. En fördel med denna mjukvara är också att man kan automatisera variogramanalysen som annars är en tidsödande process. Detta medför i och för sig en osäkerhet i tolkningen eftersom variogramskapandet till delar är subjektiv och kan förbättras med en användares erfarenhet. Men i detta projekt har ett mycket stort antal variogram analyserats (> 4000 st.) vilket medfört att ett helt manuellt arbete varit i det närmaste omöjligt.



Figur 2. Exempel på hur vario-grammet ser ut för ytor med olika datavariation (från Deutsch & Journel, 1997).

Dataunderlag

Underlaget för studierna är ett stort antal jordanalyser som analyserats av AnalyCen Nordic AB i samband med markkartering där provpunkterna positionerats med GPS (satellitbaserad positionering) utförda i huvudsak 1999-2002 sammanställdes i en databas. Över 200.000 jordanalysresultat sammanställdes av vilka två tredjedelar kom från Skåne, resterande del från jordbruksområdena i norra Götaland och Svealand. Data saknas dock till största delen från vissa områden, t ex från Halland, varför materialet inte är riktigt heltäckande geografiskt. Gårds- och skiftesgränser saknades dock, men för att kunna undersöka den lokala variationen kompletterades materialet med gränserna från Jordbruksverkets blockkarta. Ett block kan i verkligheten bestå av mer än ett skifte. Dess avgränsning sker vid fysiska hinder som t ex diken eller skogskanter. Genom att provpunkterna var koordinatsatta kunde varje jordprov knytas till ett block m h a ett geografiskt informationssystem (GIS). Endast blockgeometrin användes, och ett för projektet unikt id-nummer tilldelades varje block. Sammanfattande statistik beräknades för markkarteringsdata inom respektive block. För ett stort antal av dessa analyserades även variogram. För geografiska sammanställningar gjordes en summering av blockstatistiken på skördeområdesnivå, vilkas gränser erhöles från Statistiska Centralbyrån (SCB) 2002. Blockstatistik sammanställdes endast för block med minst 10 analysvärden. För variogramanalyserna användes endast block med minst 20 prover.

För att möjliggöra detaljstudier av effekt av beräkning över skiftesgränser samt varierad provtagning användes dessutom analyser av 1579 jordprover från Svalöf-Weibulls försöksgård Bjertorp från 1995-2000, samt 137 analyser från gården Bryggum, båda i Västergötland.

Ny mätmetodik för undersökning av inomfältvariation

En för Sverige ny metod för kartering av markegenskaper introducerades under projektet, faktiskt som en följd av arbetet. Instrumentet EM38 (tillverkad av det kanadensiska företaget Geonics Ltd) mäter markens elektriska ledningsförmåga och har visat sig vara användbar för kartering av jordartskillnader inom fält (t ex Nehmdahl & Greve, 2001). Instrumentet dras av en fyrhjulig motorcykel som utrustats med DGPS (utrustning för satellitpositionering med korrektionssignal för ökad positionsnoggrannhet (< 2 m)) och en datalogger som fortlöpande registrerade data från EM38-instrument och GPS. EM38 genererar ett elektromagnetiskt fält och mäter sedan den elektromagnetiska induktansen ned till drygt 1 m djup, beroende på markens beskaffenhet. Mätningarna är gjorda i drag med ca 12-24 meter emellan. Det är i storleksordningen 5-7 m mellan varje registrerad mätpunkt i dragen. Mätningar från 32 fält var tillgängliga i projektet och användes för att utveckla en ny markkarteringsstrategi baserad på EM38, samt att undersöka den rumsliga variationen i jordartskillnader inom fält.

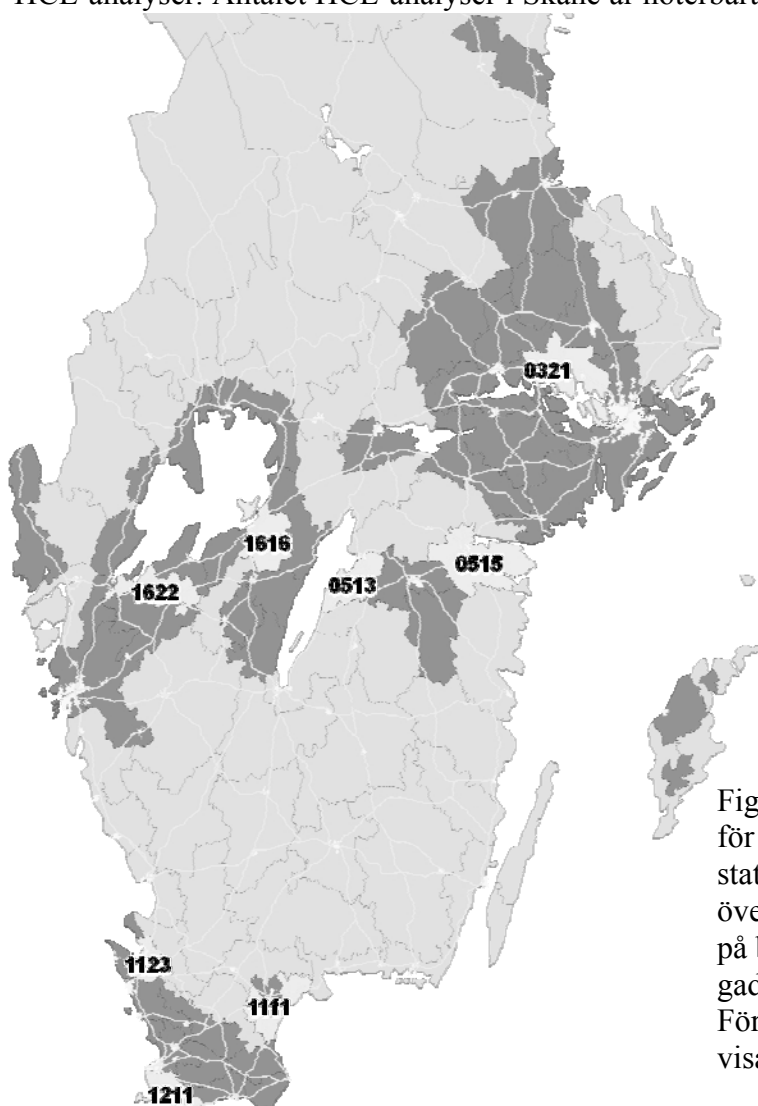
Resultat och diskussion

Sammanställning av markkarteringsdata på blocknivå

Totalt hade 7805 block ≥ 10 jordprover där analys med AL-extraktet utförts, och 2087 block med ≥ 10 HCL-analyser. Dessa block innehöll 178.000 AL-analyser och 38.000 HCL-analyser. Antalet HCL-analyser i Skåne är noterbart litet, endast 6.200 (med tanke

på att 115.000 av AL-analyserna var gjorda i detta område). Antalet prov per block varierade mellan 10-225 för AL och 10-120 för HCL. Här redovisas statistik för ett urval av block och skördeområden (figur 3). För översiktliga kartor över markkarteringsstatistik se vidare bilaga A.

P-AL-talen är mycket höga i SKO i Skåne, klass IV och V i medeltal i provtagna block. En tolkning från precisionsodlingssynpunkt av dessa värden är att man här bör använda tekniken för att



Figur 3. Skördeområden för vilka sammanfattande statistik sammanställts över markkarteringsvärde på blocknivå är mörkfärgade (se vidare bilaga A). För numrerade SKO redovisas data i tabell 1.

styra P-givor till de områden som har relativt låga P-värden för att undvika läckagerisk. Däremot är det låga klass III-värden i medeltal i Västergötland. Där har man generellt ett behov av P och man torde finna delar av fält med riktigt låga P-AL-värden där P-gödning kan ha en betydande effekt på skörden. Dock är variationen relativt liten vilket skulle indikera att en jämn giva skulle fungera bra på många fält. I SKO 0515 och 0321 är CV för P-AL hög i medeltal. Det tyder på att man bör ha stor anledning att undersöka möjligheterna med precisionsodling för att undvika onödiga P-förluster (se även Söderström et al, 2005). I Mälardalen och delar av östra Götaland har man ju mycket höga lerhalter och detta avspeglas i högt K-HCl, Mg-AL och Cu-HCl, men även högt K-AL. I delar av Västergötland och Skåne kan man notera stor inomfältvariation i Cu- och K-HCl och i många fall låga medeltal.

Tabell 1. Markkarteringsanalyser (mg/100 g jord). Medelvärden (Med) för block i ett urval av skördeområden (SKO) (läget på dessa visas i figur 3) (CV=variationskoefficienten (%), n = antal block).

SKO	AL <i>n</i>	P-AL		K-AL		Mg-AL		pH		HCl		K-HCl		Cu-HCl	
		Med	CV	Med	CV	Med	CV	<i>n</i>	Med	CV	<i>n</i>	Med	CV	Med	CV
0321	166	6.6	46.8	22.3	22.3	33.9	30.7	165	6.5	5.6	63	534.1	16.9	32.2	14.6
0513	72	9.6	40.0	13.3	30.4	12.3	34.2	71	7.0	3.9	39	209.6	30.8	20.0	24.2
0515	188	7.1	47.2	19.6	22.9	46.5	42.0	188	6.4	4.3	75	389.4	21.4	23.8	20.5
1111	394	17.7	31.6	9.2	32.6	12.4	55.5	382	7.0	5.8	15	88.4	36.2	9.0	28.7
1123	316	10.9	39.5	15.5	28.6	14.1	44.3	301	6.9	4.8	23	194.7	38.5	11.9	24.5
1211	729	11.5	43.7	9.6	25.8	8.8	46.2	712	7.2	5.2	73	121.2	23.9	11.3	23.3
1616	272	4.7	43.6	15.6	31.2	34.5	47.7	272	6.4	3.7	158	253.3	34.1	15.5	34.9
1622	249	6.1	34.3	13.4	24.0	22.9	38.0	249	6.5	2.8	135	218.0	29.6	10.1	21.7

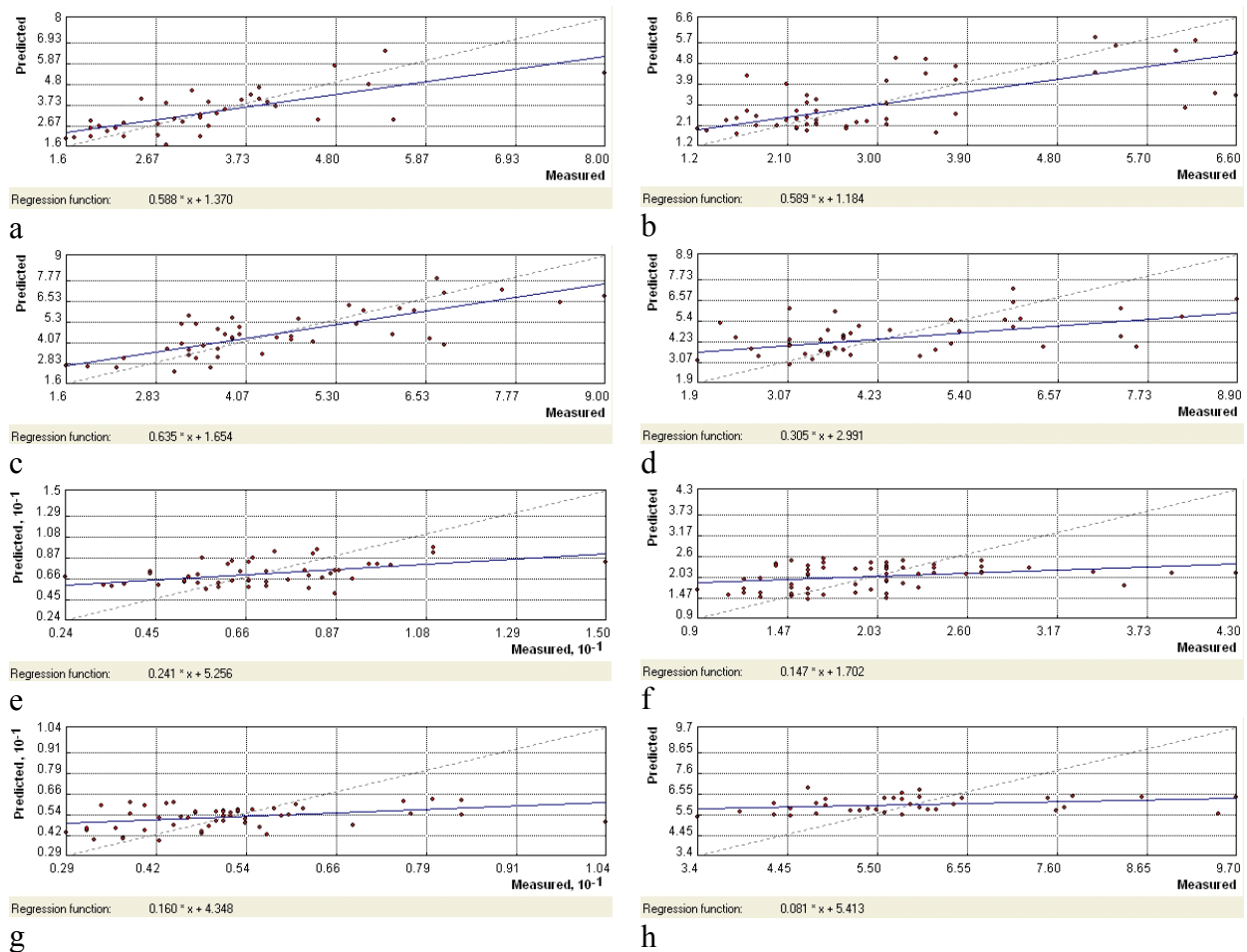
Förhållandet nugget:sill

Figur 4 visar ett antal korsvalideringar för block med varierande kvot $C_0/(C_0+C_1)$. I stort sett är sambandet mellan uppmätta och interpolerade värden allt svagare ju högre kvoten är. I figurerna 4f-h är sambandet mellan uppmätta och observerade värden mycket svagt och interpolationen fungerar dåligt. Det omvända förhållandet råder däremot i figurerna 4a-c. En förenkling och klassindelning kan förslagsvis göras enligt tabell 2. Det är en viss modifiering av en liknande tidigare klassificering (Cambardella et al., 1994). En sådan klassindelning är tänkt som en vägledning då det gäller att avgöra om dataunderlaget är tillräckligt för meningsfull interpolation. Orsaken till $C_0\%$ -klass 3 kan vara att provtagningen behöver förtätas eller att variationen är så liten (låg CV) så att man lika gärna kan använda medelvärdet vid t ex beräkning av gödselbehov. En annan metod för att bedöma detta är att jämföra standardavvikelsen i populationen med beräkningsfelet vid en korsvalidering (som t ex Delin & Söderström (2003) gjort för att jämföra karteringsmetoder för markkartering).

Tabell 2. Generalisering i klasser av $C_0/(C_0+C_1)$ med avseende på hur interpolationen fungerar.

Grad av rumsligt beroende	$C_0/(C_0+C_1)$ [%]	$C_0\%$ -klass
Högt	< 30	1
Måttligt	30-60	2
Svagt	> 60	3

Tabell 3 visar fördelningen av C_0 -klasser i några olika skördeområden i olika delar av Mellansverige. Med ledning av tabellen kan man dra slutsatsen att interpolationen torde fungera ganska bra i 60-80% av fallen (C_0 -klass = 1). För K-AL är värdena något lägre; i ett par SKO fungerar interpolationen tveksamt eller dåligt i mer än 50% av undersökta block, men någon större skillnad är det inte mellan de olika variablerna. Man hade kunnat förvänta sig att interpolationen av Mg-AL, som är starkast kopplat till lerhalt, skulle fungera bäst, men det kan inte utläsas av sammanställningen. Upp till 15% av markkarteringarna ligger i C_0 -klass 3. Här fungerar definitivt inte interpolation av mätvärden. Det tycks finnas vissa geografiska skillnader för några variabler: Skaraborg (områden 1616 och 1622) har relativt hög andel C_0 -klass 3 för P-AL, medan interpolation av pH i Mälardalen oftare fungerar dåligt.



Figur 4. Exempel på korsvalideringar av markkarteringar (P-AL) med olika kvot $C_0/(C_0+C_1)$. Kvoten uttryckt i % är i a) 0 %, b) 7,6 %, c) 12,6 %, d) 31,5 %, e) 51,6 %, f) 60,6 %, g) 63,9 %, h) 82,2 %.

Interpolation över gränser för olika strata

Om man endast har tillgång till ett fåtal markkarteringsvärden fungerar interpolationen sämre. Om dessutom de data man har representerar helt olika typer av ytor (strata), t ex olika jordarter eller kanske olika gödslingshistorik, kan det vara svårt att göra en bra interpolation om man blandar data från dessa ytor (Burrough & McDonnell, 1998). Några olika angreppssätt att hantera detta har testats. I normalfallet vinner man på att

interpolera över skiftesgränsen. Det gäller framförallt för variabler som är knutna till jordarten, men ofta även för andra variabler som mer påverkas av t ex gödsling. Fenomenet är datahanteringsmässigt detsamma som när det förekommer olika jordarter inom ett och samma fält (Delin & Söderström, 2003). Abrupta nivåskillnader kan konstateras med olika metoder: t ex en visuell bedömning av en enkel klassindelning av mätvärden, en analys av varians i ett fönster som flyttas över ytan, en analys av nugget:sillförhållandet i lokala variogram eller variogramanalys i hela datasetet jämfört med variogramanalys i respektive delyta. För att hantera abrupta nivåskillnader kan man använda olika angreppssätt: varje delyta interpoleras var för sig, medelvärde används för respektive delyta (*management zones*), alternativt hanteras skillnaden på samma sätt som en trend. I interpolationssammanhang försöker man ta bort trenden från observationsvärdena innan interpolationen. När sedan interpolationen gjorts kan trenden åter läggas till det interpolerade datasetet. Den senare metoden kan vara ett bra alternativ om man har en generell nivåskillnad i markkarteringsvärden över skiftesgränser eller mellan områden med olika jordart (se t ex Delin & Söderström, 2003).

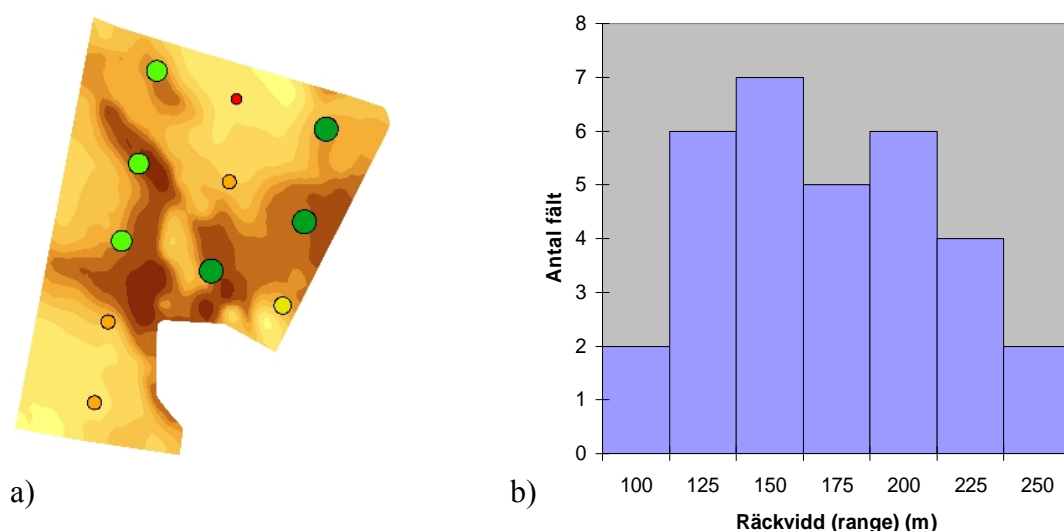
Tabell 3. Procentuell fördelning av variogram i klasser av C₀% i ett urval av undersökta skördeområden (läget på dessa visas i figur 3)

SKO	pH				P-AL			
	n	1	2	3	n	1	2	3
321	55	67	18	15	55	91	5	4
513	27	70	26	4	27	70	22	7
515	59	73	24	3	59	81	17	2
1616	98	82	11	7	101	65	20	15
1622	72	76	22	1	72	74	15	11
	K-AL				Mg-AL			
	n	1	2	3	n	1	2	3
321	55	84	9	7	55	76	22	2
513	27	67	26	7	27	70	19	11
515	60	48	42	10	60	80	13	7
1616	101	64	29	7	101	85	12	3
1622	72	47	38	15	72	64	26	10

Provtagningsavstånd

Den vanliga markkarteringen med ett prov/ha kan inte fånga upp variation som sker på korta avstånd. Denna variation ger sig till känna som högt C₀ i förhållande till C₀+C₁. För att få en bild av hur variationen ser ut på korta avstånd erfordras en mycket tätare provtagning. En normal mätning av ECa m h a EM38 resulterar i mätdata var 5:e m längs kördragen som ofta görs med 12-24 m mellanrum. Eftersom skillnader i jordart är den viktigaste faktorn som styr variationen i ECa (se t ex Nehmdahl & Greve, 2001), och skillnader i jordart ofta betyder variation i de flesta markkarteringsvärdena, bör data från EM38-karteringen kunna ge en bild av hur tät en provtagning av ett fält bör vara för att man ska fånga den variation som föreligger. *Range*-värdena (R) från variogramanalysen från 32 EM38-mätningar sammanställdes (figur 5b). R anger det största avstånd inom vilket två mätpunkter är korrelerade till varandra. Vid provtagning i ett regelbundet rutnät brukar ½R anses vara ett tillräckligt avstånd för att man ska fånga den rumsli-

ga variationen. Medelvärde av R för dessa 32 fält var 157 m, vilket således medför att i snitt knappt 80 m (min 30 m; max 116 m) mellan provpunkter skulle vara ett lämpligt värde, d v s ungefär två prover/ha. Men variationen är ju trots allt ganska stor, och dessutom varierar den optimala provtätheten inom samma gård. Figur 6 visar hur $\frac{1}{2}R$ kan variera inom en gård. I det fallet är medeltalet 85 m för gården, men det är tydligt att man egentligen bör variera provtätheten. I anslutning till det här projektet genomfördes ett examensarbete vid Högskolan i Skövde. En metod och en mjukvara för att anpassa provtagningen till den variation som EM38-karteringen visar utarbetades. Metoden finns redovisad i Olsson et al. (2003), och den används idag som ett redskap vid provpunktsplanering m h a EM38 av AnalyCen Nordic AB.



Figur 5. a) Exempel på resultat från EM38-kartering (brungula nyanser). Punkterna visar K-HCl-värden från en vanlig markkartering. Större prickar högre K-HCl. b) Histogram som visar fördelningen av räckvidd (range) från variogramanalysen för 32 EM38-karteringar.



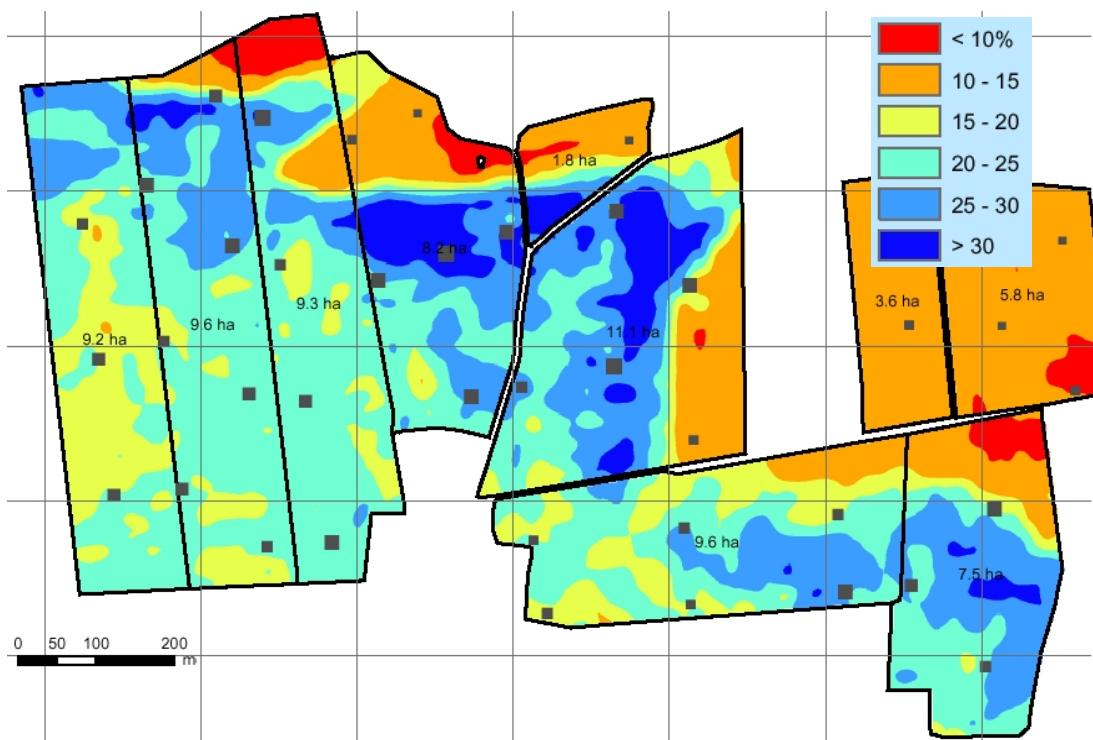
Figur 6. Variation i $\frac{1}{2}R$ på olika delar av en gård (rutor om 20 m) beräknad vid variogramanalys av lokala variogram av EM38-data (Bryggum, Västergötland).

Metoder för att hantera analyser i vartannat prov

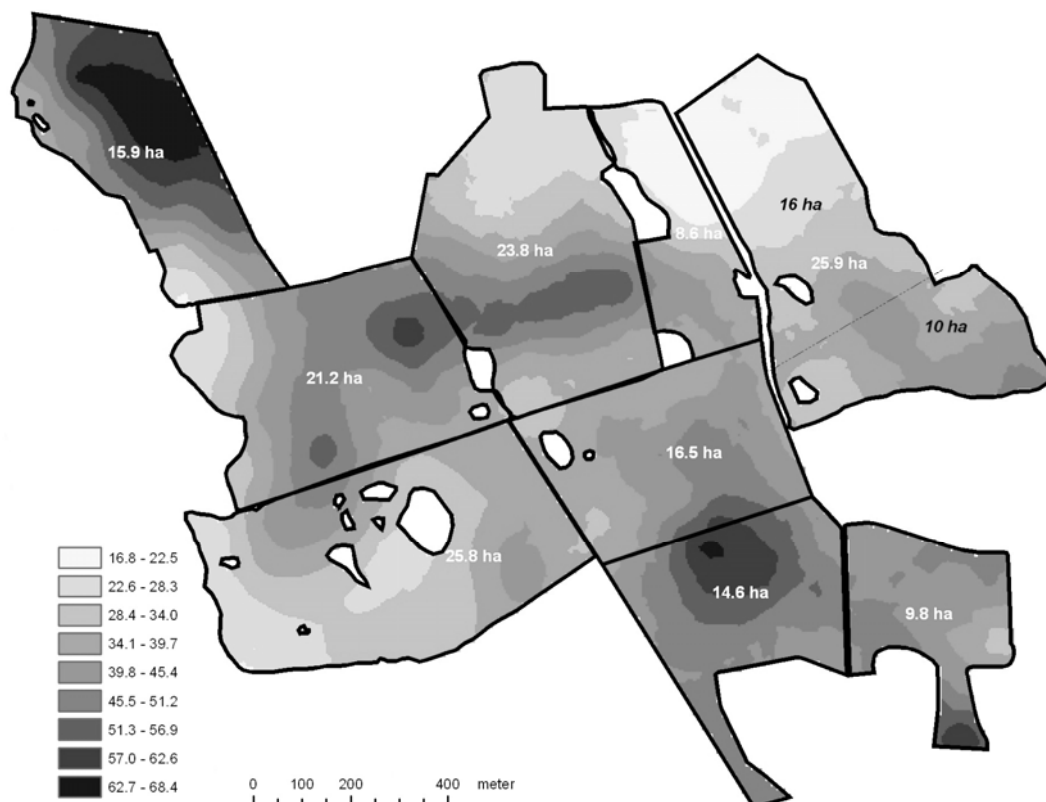
För att minska på kostnaderna analyseras endast i HCl-extrakt (K och Cu) på vartannat eller vart tredje prov. Likadant är det med mull- och lerhaltsanalyser. Detta ger i normalfallet ett alltför dåligt underlag för att användas för interpolation och sedermera framställande av styrfiler för varierad spridning. Det är framförallt styrfiler för kalkning som är aktuella, men även för anpassning av växtnäringsbehovet beroende på jordartsskillnader. Det finns även exempel på stor variation i kopparbehov inom fält. För att råda bot på denna brist på observationsvärden har i projektet testats ett par olika metoder. Det bygger på att man kan utnyttja en sekundär variabel som stöd till den primära i det fall dessa är korrelerade. När det gäller koppling till lerhalt (och därmed ofta K-HCl och Cu-HCl) så har det visat sig att Mg-AL och EM38-kartan ofta kan användas. Korrelationen (r^2) mellan ler och EM38 kan variera men är ofta i storleksordningen 0.6-0.8 på fält med varierande jordart. Mg-AL, som man normalt har tillgång till i alla provpunkter, är i vissa fall också mycket väl kopplad till dessa variabler, men i båda fallen krävs att man utvärderar sambandet lokalt först för en bedömning av möjligheterna.

Om ett bra samband kan dokumenteras kan man använda ett par olika metoder för karteringen. Det enklaste är att använda regressionssambandet och räkna om kartbilden för den sekundära variabeln till den primära. Detta lämpar sig bäst för EM38-data om man har ett starkt samband med t ex lerhalt (se exempel i figur 7). På EM38-värdenas tendens till att kunna variera rätt mycket lokalt (ett visst brus på alla ställen) är det lämpligt att EM38-kartan filtreras från detta så att det är de stora dragen i variationen som framträder (det finns en skillnad i skala mellan EM38-mätning (ca 1 m²) och den yta som ett jordprov representerar (25-30 m²) som i annat fall kan försvåra jämförelser).

Effektivare än regression kan vara att använda cokriging (Burrough & McDonnell, 1998). Metoden bygger på att man viktar samman den primära och sekundära variabeln med hjälp av variogram och korsvariogram (Deutsch & Journel, 1997). Många undersökningar har visat att detta kan ge säkrare interpolerade värden än vad som annars varit möjligt (t ex Rosenbaum & Söderström, 1996), men metoden är mer tidskrävande och komplicerad än den föregående. Denna metod kan vara användbar t ex för interpolation av lerhalt eller K-HCl i de fall man har tillgång till tätare AL-analyser, eftersom Mg-AL inte sällan är väl korrelerat med dessa variabler. I exemplet i figur 8 utnyttjades cokriging av 113 lerhaltsanalyser mot 164 Mg-AL-analyser. Korrelationen r^2 var 0.56 mellan ler och Mg-AL men gav ändå upphov till en minskning av RMS-felet vid korsvalidering på 20% jämfört med om endast lerhalt användes.



Figur 7. Lerhaltskarta beräknad med linjär regression från EM38-kartering. Sambandet mellan ler och EM38-data var $r^2=0.74$. I grunden låg en gammal markkartering med leranalys i vartannat jordprov.



Figur 8. Lerhaltskartering (%) gjord m h a cokriging mellan lerhalt (n=113) och Mg-AL (n=164, ca 1 per/ha). Med denna metod minskade beräkningsfelet i interpolationen med en femtedel jämfört med om endast lerhalt användes.

Slutsatser

Det finns regionala skillnader i inomfältvariation – både medelvärden och variationen i Sverige. Effekten av att tillämpa precisionsodling som baseras på markkartering kan skilja mellan landsdelarna – minskad risk för läckage kan vara främsta vinsten i vissa fall medan höjd skörd kan bli resultatet på annat håll. Variationen inom ett område är ofta kopplad till jordartsskillnader vilket gör att likartade förutsättningar kan råda i närområdet till en gård eller i en region. Den vanliga markkarteringen med ett prov/ha fungerar i normalfallet (i 60-80%) bättre som underlag för precisionsstyrning av växtnäring och kalk än användning av medelvärdet för fältet. Man bör ha i åtanke att en sådan provtagning ger en bild av den lite mer storskaliga variationen inom och mellan fält – variationen på korta avstånd uppfattas som brus eller osäkerhet och kan inte hanteras och medför ibland felaktigheter i kartan. Många delstick i ett prov minskar bruset. Interpolation till alltför små ytor med en vanlig markkartering som grund ska undvikas. För regelbunden provtagning tycks två prover/ha vara en lämplig provtäthet för att man i normalfallet ska fånga jordartsvariationer. Man vinner ofta på att använda observationer från grannfälten vid interpolation för att få tillgång till fler mätvärden, i vissa fall kan dock kalkning och kraftig gödsling på ett fält medföra nivåskillnader mellan fälten, men denna typ av variation kan ibland regleras genom upp- eller nedjustering av nivåer. Ibland fungerar alltså inte den traditionella markkarteringen och det finns utrymme för förbättringar. Stödvariabler som EM38-mätning ger möjlighet till avsevärt säkrare kartering och anpassad provtagning, samt ger möjlighet att kvantifiera jordartsvariationen inom och mellan fält. Analys av vissa parametrar i vartannat eller vart tredje prov ger ett dåligt underlag för precisionskartering. En möjlighet att avhjälpa detta kan vara att använda en tätare provtagen variabel för förbättrad interpolation, t ex EM38-kartering eller ibland Mg-AL. Som ett resultat av projektet startade uppbyggnaden av en provpunktsdatabas som används av AnalyCen, t ex för Kartdata Direkt - en Internetjänst som drivs av Lantmännen och AnalyCen. En tjänst för lantbrukare med styrd provtagning efter EM38-kartering utvecklades också i anslutning till projektet och används idag.

Referenser

- Burrough, P.A. & McDonnell, R.A. 1998. Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press, Oxford, 333 p.
- Cambardella, C.A. Moorman, T.B., Novak, J.M., Parkin, T.B. Karlen, D.L., Turco, R.F. & Konopka, A.E. 1994. Field-scale variability of Soil Properties in Central Iowa Soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 58:1501-1511
- Delin, S. & Söderström, M., 2003. Potential for improving interpolation of soil data using geostatistics and soil electrical conductivity. ACTA Agric. Scand., Sect. B, Soil and Plant Sci. 2003, vol. 52, no. 4, pp. 127-135.
- Deutsch C. V. & Journel A. G. 1997. GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide, 2nd edn., Oxford University Press, New York, 369pp
- Fleming K L & Westfall D G, 1999. Farmer Developed Management Zone Maps For Variable Rate Fertilizer Application. . Ur: Stafford J.V. (ed.): Precision Agriculture '99. Part 2. 2nd European Conference on Precision Agriculture, Odense Danmark. SCI, UK. s 917-926.
- Gilbertsson M, 2001. Sensorer för att mäta markparametrars variation inom fält. JTI-rapport Lantbruk och industri, 276. 39 s.

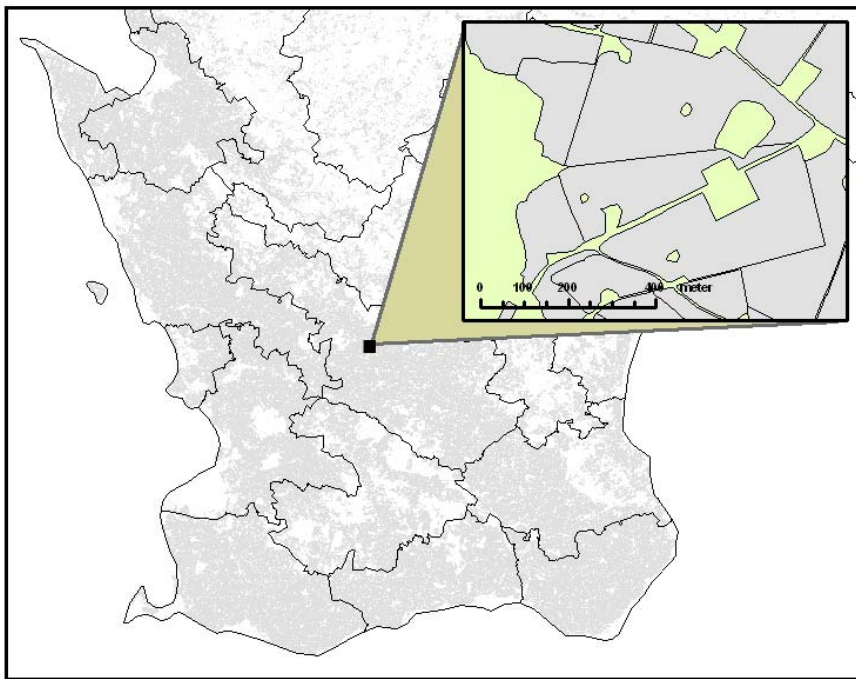
- Gustafsson K, 1999. Models for precision application of lime. . Ur: Stafford J.V. (ed.): Precision Agriculture '99. Part 1. 2nd European Conference on Precision Agriculture, Odense Denmark. SCI, UK. s 175-180.
- Hong, N., White, J.G., Gumpertz, M.L. & Weisz, R., 2005. Spatial Analysis of Precision Agriculture Treatments in Randomized Complete Blocks: Guidelines for Covariance Model Selection. *Agron. J.* 97:1082–1096
- Jordbruksverket, 2000. Riktlinjer för gödsling och kalkning 2001. Jordbruksverket, Rapport 2000:22.
- Jordbruksverket. 2002. Markkartering. Jordbruksinformation 6 – 2002. Jordbruksverket, Jönköping.
- King J A & Dampney P M R, 2000. Electro-Magnetic Induction (EMI) for measuring soil properties. *Aspects of Applied Biology*, 60. Remote Sensing in Agriculture, 247-252.
- Lundström C, Delin S & Nissen K, 2001. Precisionsodling – teknik och möjligheter. Litteraturoversikt och lägesbeskrivning. Inst. för jordbruksvetenskap, SLU, Skara. Precisionsodling i Väst, Teknisk rapport 5
- McBratney, A.B. & Pringle, M.J. 1997. Spatial variability in soil – implications for precision agriculture. In: Precision agriculture '97 (ed. Stafford, J.V.), pp. 3-31.
- McBratney A B & Taylor J A, 1999. PV or not PV? Australian Centre for Precision Agriculture, McMillan Building A05, The University of Sydney, NSW 2006. Published on the Internet: <http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa/>
- Minasny, B., McBratney, A.B. & Whelan, B.M. 1999. VESPER version 1.0. Australian Centre for Precision Agriculture, McMillan Building A05, The University of Sydney, NSW 2006. Freeware available at: <http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa/>
- Nehmdahl, H. & Greve, M. H. 2001. Using Soil Electrical Conductivity Measurements For Delineating Management Zones On Highly Variable Soils in Denmark. In: Grenier, G. & Blackmore, S. (eds.): ECPA 2001. 3rd European Conference on Precision Agriculture (vol. 1). agro Montpellier, 461-466
- Olsson, D., Söderström, M. & Nissen, K. 2003. An automated method to locate optimal soil sampling sites using ancillary information. Poster presented at the 4th European conference on Precision Agriculture, 4th ECPA, Berlin, June 15 to 19, 2003.
- Pilesjö P, Thylén L & Persson A, 2000. Digital Elevation Models for delineation of Agricultural Management Zones. Second International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry, Lake Buena Vista, Florida.
- Rosenbaum, M.S. & Söderström, M., 1996. Cokriging of Heavy Metals as an Aid to Biogeochemical Mapping. *ACTA Agriculturae Scandinavica*, Section B: Soil and Plant Sciences, 46, 1-8. Stafford, J.V. 2000. Implementing precision agriculture in the 21st century. *J. Agric. Engng Res.*, Vol. 76, pp. 267-275.
- Slocum A H, 1998. Thematic Cartography and Visualization. Prentice-Hall. 224 s
- Söderström, M. 2003. Systems of soil mapping in precision agriculture. NJF seminar no. 336 "Implementation of Precision Farming in Practical Agriculture", 10-12 June 2002. DIAS report, Plant Production No. 100. pp 17-25.
- Söderström, M., Nyberg, A., Anderson, C. & Lindén, B. 2005. A key indicator for the assessment of spatially variable phosphorus fertilisation. In: Stafford J V (ed.). Precision Agriculture '05. Wageningen Academic Publishers. ISBN 9076998698. pp. 977-983.

Bilaga A. Sammanställning av markkarteringsstatistik 1998-2002

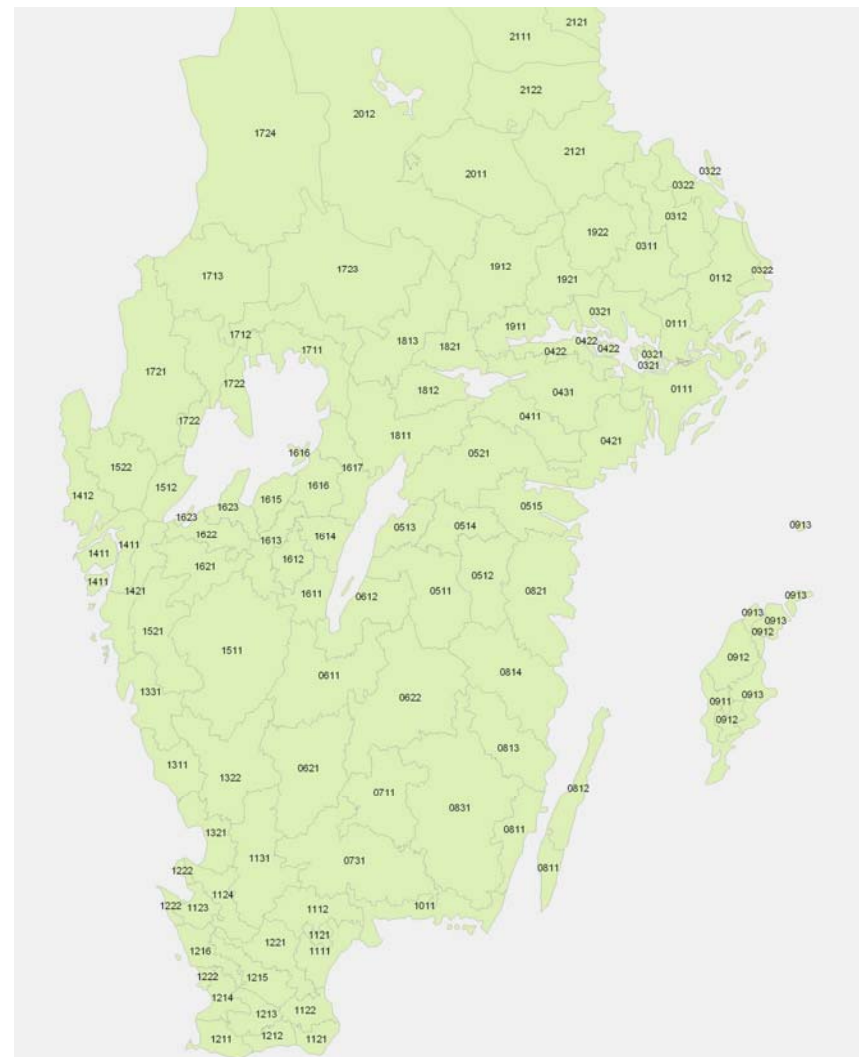
Mats Söderström, Inst f mark och miljö, SLU, Skara, 2008

Introduktion

I det här arbetet har analysresultat från vanliga markkarteringar analyserats statistiskt, både på blocknivå (dvs enligt Jordbruksverkets blockkarta för åkermark (fig A1)) och skördeområdesnivå (enligt SCB's skördeområden (fig A2)). Syftet var att få en uppfattning om geografiska skillnader både i generella nivåer och inomfälsvariation av analysdata från jordprover som är tagna i samband med markkartering i södra Sverige.



Figur A1. Jordbruksverkets blockkarta. Här visas Skåne som exempel. Den grå ytan är jordbruksblocken och gränserna visar skördeområden. I den förstorade bilden visas hur blockens utbredning kan se ut mer i detalj.



Figur A2. Skördeområden i södra Sverige (från SCB, 2002)

Metoder och material

Jordanalyserna är utförda av dåvarande AnalyCen Nordic AB (numera Eurofins) i samband med markkartering 1998-2002. Ett slumpmässigt antal jordanalyser som positionerats med GPS (satellitbaserad positionering) utförda under den nämnda tidsperioden valdes ut för den statistiska bearbetningen. Fler än 200.000 jordprover analyserades av vilka två tredjedelar kom från Skåne, resterande del från jordbruksområdena i norra Götaland och Svealand. Data saknas dock till största delen från vissa viktiga områden, t ex från Halland, varför denna redovisning inte gör anspråk på att vara heltäckande geografiskt.

Digitala kartdata som visar jordbruksblock respektive skördeområden införskaffades från Jordbruksverket respektive SCB. Genom att provpunkterna var koordinatsatta kan man med ett geografiskt informationssystem (GIS) tilldela varje jordprov en blocktillhörighet (innan denna analys hade varje block fått ett unikt id-nummer). Detta gjordes och sedan gjordes en statistisk summering på blocknivå, dvs medel (Med), min, max och standardavvikelsen (SD) med beräknades för respektive block. Ofta är standardavvikelsen positivt korrelerad med medelvärdet. För att få en uppfattning om förhållandet mellan medelvärde och standardavvikelse beräknades variationskoefficienten (CV) för respektive block. CV är ett uttryck för hur stor del av medelvärdet som utgörs av standardavvikelsen:

$$CV (\%) = (SD / Med) * 100$$

Endast block med minst 10 prover valdes ut. Avsikten var att de statistiska värdena för ett block då kunde anses någorlunda representativa för ett fält, dvs blocken fick representera skiften. Detta är en sanning med viss modifikation eftersom ett block kan bestå av flera skiften, och avgränsningen sker vid fysiska hinder som t ex diken eller skogskanter. Emellertid är det endast ett urval av markkarteringar som använts i detta arbete varför det i de flesta fall endast är ett av skiftena inom ett block som är med i analysen, vilket borde betyda att antagandet är rimligt.

På motsvarande sätt tilldelades block med minst 10 prover en skördeområdestillhörighet. Sammanfattande statistik beräknades för skördeområden som innehöll minst 10 sådana block.

Totalt hade 7805 block ≥ 10 jordprover där analys med AL-extraktet utförts, och 2087 block med ≥ 10 HCl-analyser. Dessa block innehöll 178.000 AL-analyser och 38.000 HCL-analyser. Antalet HCL-analyser i södra Götaland är noterbart litet, endast 6.200 (med tanke på att 115.000 av AL-analyserna var gjorda i detta område). Antalet prov per block varierade mellan 10-225 för AL och 10-120 för HCl.

Dataarbetet utfördes med mjukvaran ArcGIS Desktop (www.esri.com).

Bilaga A

Tabell A1. Markkarteringsvärden per block 1998-2002 summerat per skördeområde (SKO) (medelvärden (Med) i mg / 100 g, medeltal av variationskoeff (CV) (%) och antal block (n) inom respektive SKO). Område 1011 representeras endast av data från den västligaste delen.

SKO	AL	P-AL		K-AL		Mg-AL		pH			HCl	K-HCl		Cu-HCl	
	n	Med	CV	Med	CV	Med	CV		n	Med	CV	n	Med	CV	Med
111	52	8.8	36.7	19.7	26.2	22.5	35.5	52	6.3	4.9	34	332	25.8	21.5	28.3
311	87	9.7	48.9	17.0	29.3	23.2	35.9	87	6.7	6.7	21	344	22.6	26.7	19.0
312	14	6.8	39.6	15.4	29.1	19.3	36.0	14	6.7	8.4	<10				
321	166	6.6	46.8	22.3	22.3	33.9	30.7	165	6.5	5.6	63	534	16.9	32.2	14.6
411	96	5.7	40.3	14.3	30.0	27.3	44.1	96	6.2	4.3	60	207	28.1	15.6	37.0
421	111	7.6	37.5	16.2	26.8	26.6	41.1	111	6.2	5.3	60	306	26.3	20.2	29.6
422	28	8.5	48.2	23.9	22.6	33.3	37.1	28	6.3	5.9	10	467	16.1	35.6	18.2
431	30	8.8	48.1	20.3	22.3	36.0	35.5	30	6.4	6.0	15	264	22.7	25.1	33.5
512	17	8.2	45.8	14.6	29.7	13.7	59.7	17	6.2	3.5	13	176	36.0	13.6	27.1
513	72	9.6	40.0	13.3	30.4	12.3	34.2	71	7.0	3.9	39	210	30.8	20.0	24.2
514	121	8.0	44.8	18.2	24.2	30.4	40.7	121	6.7	3.7	62	294	27.0	19.0	22.7
515	188	7.1	47.2	19.6	22.9	46.5	42.0	188	6.4	4.3	75	389	21.4	23.8	20.5
521	17	6.3	37.2	11.4	28.5	14.4	41.8	17	6.2	4.6	<10				
821	25	7.2	41.9	18.3	30.2	28.0	49.8	24	6.2	5.3	<10				
912	20	7.9	46.8	14.3	35.8	22.1	35.9	20	7.4	6.4	20	103	36.6	12.5	35.7
1011	10	29.3	30.4	15.3	37.2	12.8	30.7	10	6.6	4.4	<10				
1111	394	17.7	31.6	9.2	32.6	12.4	55.5	382	7.0	5.8	15	88	36.2	9.0	28.7
1112	130	11.5	40.7	9.3	35.5	10.4	53.4	121	6.5	4.9	<10				
1121	502	15.4	39.1	11.0	32.2	10.4	42.5	483	6.9	5.3	43	108	29.0	12.3	27.2
1122	183	12.4	35.0	12.0	32.5	7.7	35.3	169	6.5	5.1	10	93	17.6	16.4	26.7
1123	316	10.9	39.5	15.5	28.6	14.1	44.3	301	6.9	4.8	23	195	38.5	11.9	24.5
1124	34	11.7	38.1	11.9	28.1	9.2	37.7	29	6.6	4.4	<10				
1211	729	11.5	43.7	9.6	25.8	8.8	46.2	712	7.2	5.2	73	121	23.9	11.3	23.3
1212	270	10.5	42.1	9.9	28.9	8.3	48.9	257	6.9	5.8	34	123	25.0	13.1	24.5
1213	250	9.7	38.8	8.9	34.6	7.2	55.3	229	6.6	5.5	19	96	32.7	11.1	43.2
1214	553	11.1	42.1	11.1	28.8	9.4	43.8	512	7.2	5.5	91	132	24.5	11.4	23.4
1215	445	11.0	32.1	10.8	30.2	7.5	39.6	422	6.5	4.7	20	77	21.8	9.6	26.7
1216	563	10.2	39.1	11.0	26.2	7.9	35.2	521	6.9	4.7	82	129	22.8	11.4	21.6
1221	15	11.8	36.9	11.9	27.8	8.0	45.6	15	6.4	3.5	<10				
1222	239	13.1	39.3	10.7	31.3	8.4	41.1	212	6.9	5.9	21	88	27.4	10.3	24.3
1321	20	12.4	30.3	9.6	31.9	12.7	35.8	20	6.2	3.2	<10				
1411	19	7.0	29.4	14.6	31.5	23.2	42.4	19	6.2	3.1	<10				
1412	24	6.3	38.6	14.3	32.1	21.9	38.3	24	6.1	3.2	11	221	28.6	9.7	20.2
1421	28	8.0	33.0	13.6	32.7	18.4	48.1	28	6.3	3.7	10	214	35.4	10.7	27.2
1512	154	6.9	28.4	16.9	24.2	21.1	34.1	154	6.4	3.1	94	187	27.2	8.5	21.6
1521	39	5.2	31.5	15.4	27.1	18.5	39.9	39	6.2	3.3	24	230	30.8	13.4	25.6
1611	16	5.4	34.4	9.2	33.2	6.5	34.9	16	5.8	4.3	13	70	29.4	8.8	32.0
1612	92	8.2	39.6	11.0	30.7	7.6	39.6	92	6.6	6.8	51	92	28.2	20.9	30.6
1613	18	7.6	39.9	13.0	35.7	8.6	35.7	18	6.4	5.5	<10				
1614	193	5.2	42.6	12.7	34.4	12.8	40.7	193	6.3	3.5	156	199	32.8	7.6	24.8
1615	134	5.8	41.4	10.7	31.1	10.7	50.4	134	6.3	3.7	80	116	41.0	9.1	36.2
1616	272	4.7	43.6	15.6	31.2	34.5	47.7	272	6.4	3.7	158	253	34.1	15.5	34.9
1617	48	4.9	39.1	11.1	35.6	13.6	59.0	48	6.3	3.8	32	122	41.1	7.2	33.1
1621	102	6.4	31.2	13.2	27.8	14.0	42.4	102	6.3	3.3	69	149	35.6	9.6	27.9
1622	249	6.1	34.3	13.4	24.0	22.9	38.0	249	6.5	2.8	135	218	29.6	10.1	21.7
1623	139	6.6	34.5	12.7	28.7	17.3	46.2	139	6.6	3.3	86	182	36.2	9.2	27.7
1711	91	7.0	27.1	11.9	25.2	17.5	39.7	91	6.2	3.2	31	147	24.8	9.7	24.0
1712	38	5.5	33.3	13.1	30.0	19.3	39.2	38	6.2	3.1	<10				
1722	54	6.7	29.7	11.3	29.2	18.5	38.9	54	6.3	3.0	29	124	32.9	9.5	25.1
1811	10	3.7	46.3	10.4	38.1	13.8	52.7	10	6.1	2.9	<10				
1812	17	6.9	36.8	12.4	28.1	17.6	46.5	17	6.2	3.7	10	111	33.7	14.5	80.8
1821	11	6.4	35.2	15.0	18.8	41.7	33.2	11	6.3	4.1	<10				
1911	109	6.2	38.0	21.3	21.3	49.4	33.8	109	6.4	4.5	75	428	19.3	29.4	17.5
1912	29	4.3	35.4	11.8	30.9	27.7	36.9	29	6.1	4.3	10	205	30.5	16.8	27.8
1921	182	7.0	41.6	15.9	22.9	46.1	32.6	182	6.3	3.8	85	358	22.4	27.7	18.2
1922	21	5.9	31.0	15.4	27.2	30.0	33.4	21	6.1	4.2	11	338	30.4	25.1	22.4
2121	19	5.6	39.4	14.1	43.6	16.4	39.8	19	6.1	4.7	14	153	34.3	14.5	28.5

Resultat

Korta kommentarer till kartorna

Figur A3, A4

I kartorna redovisas medelvärden för block inom skördeområden med minst 10 block. I figurerna A3 och A4 redovisas antalet block per skördeområde för respektive AL- och HCl-analyser. Skördeområden med tillräckligt många pH-analyser sammanfaller med AL-området. Det finns data för betydligt färre skördeområden för HCl-analyser. För AL är antalet block i de mer intensiva jordbruksområdena i allmänhet >50. Det högsta antalet block är 729 för ett skördeområde. För HCl kan man notera det låga antalet block med data i delar av Skåne. Område 1011 (Blekinge) delades i kartorna eftersom data endast fanns i den västligaste delen (AL och pH).

I figurerna A5-A16 visas dels blockmedeltal per skördeområde för pH, P-AL, K-AL, Mg-AL, K-HCl och Cu-HCl, men även variationskoefficienten för block i medeltal per skördeområde för respektive parameter..

pH – figur A5, A6

Högsta medeltalen i områden i anslutning till förekomst av kambrosilurisk berggrund. Låg variation i Vänerområdet.

P-AL – figur A7, A8

Mycket höga värden i NÖ Skåne och V Blekinge, lägst i delar av centrala Götaland. Stor variation i Ö Götaland och Mälardalen.

K-AL – figur A9, A10

Höga värden i leriga områden i Ö Götaland och Mälardalen, där också variationen är liten.

Mg-AL – figur A11, A12

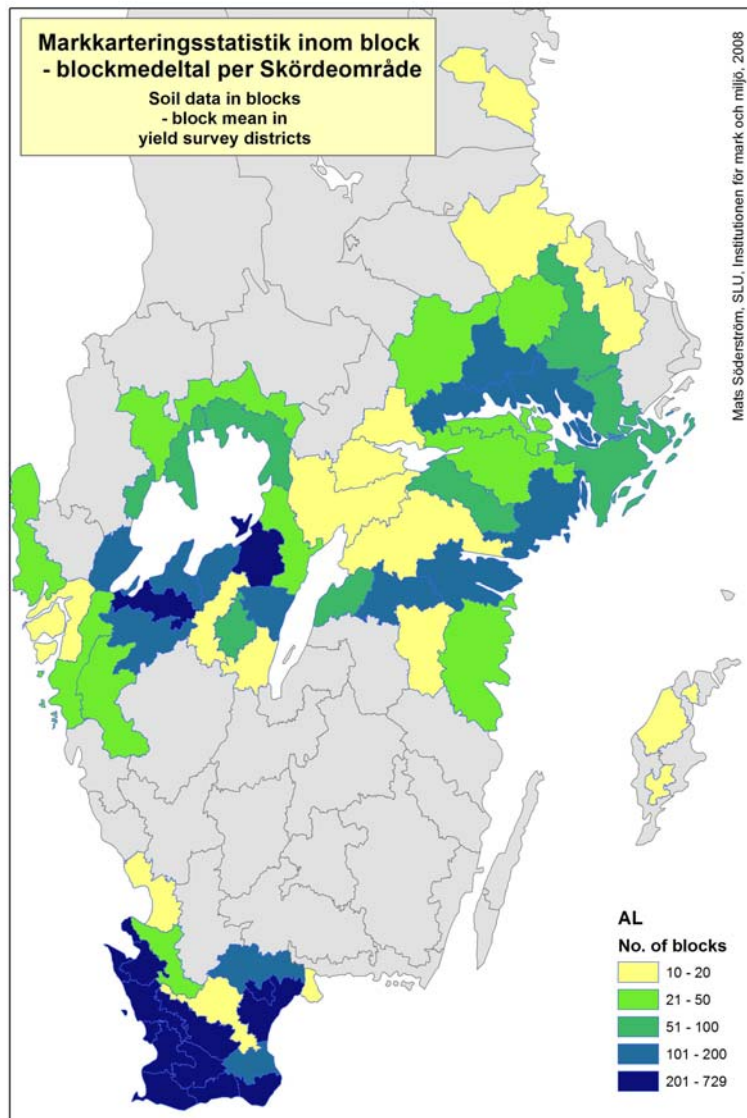
Högsta värden som för K-AL samt andra områden med hög lerhalt. Stor inomvariation i bl a Göta älvdalen, NÖ Västergötland och delar av Skåne. Liten variation i Mälardalen.

K-HCl – figur A13, A14

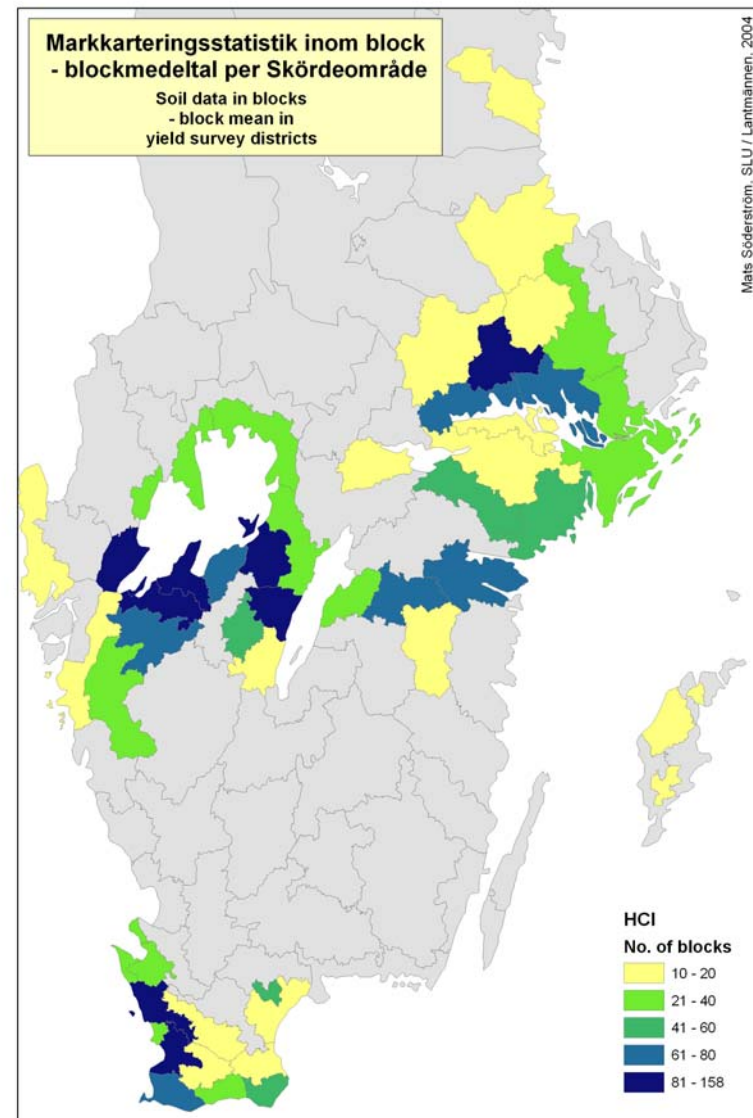
Högst värden i Mälardalen, lägst i Skåne. Stor variation i delar av Västergötland

Cu-HCl – figur A15, A16

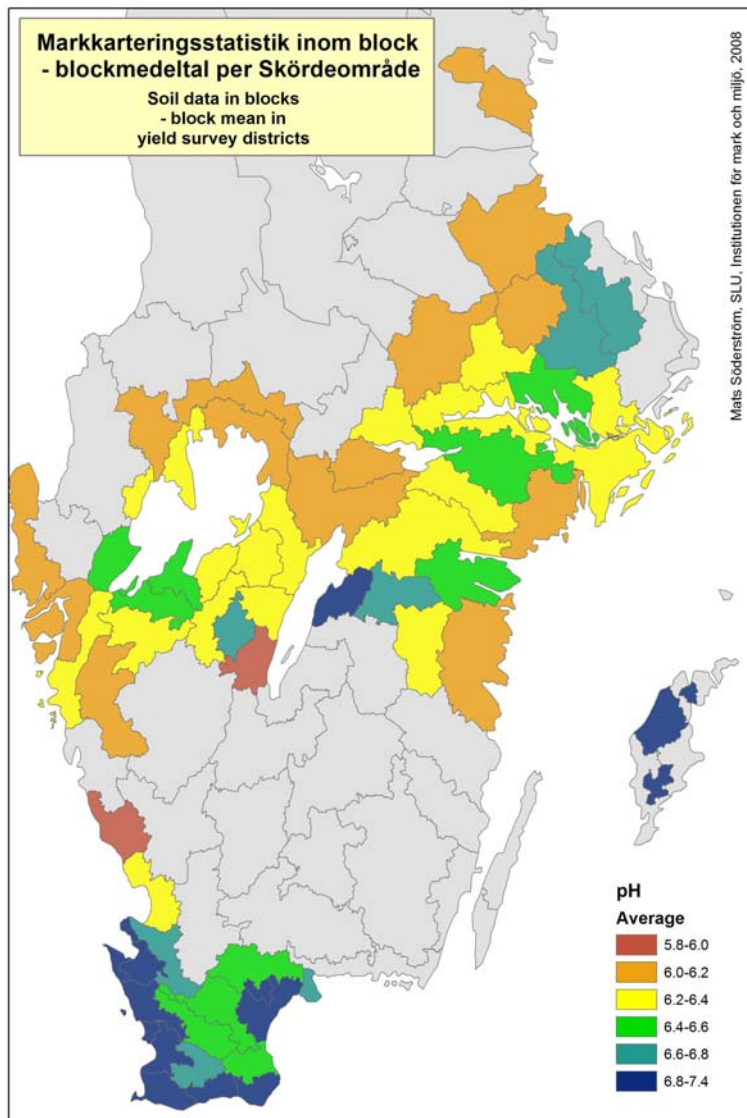
Högst värden som för K-AL. Lägst i Vänerområdet. Ingen sammanhängande bild av områden med stor variation. Liten variation i Mälardalen.



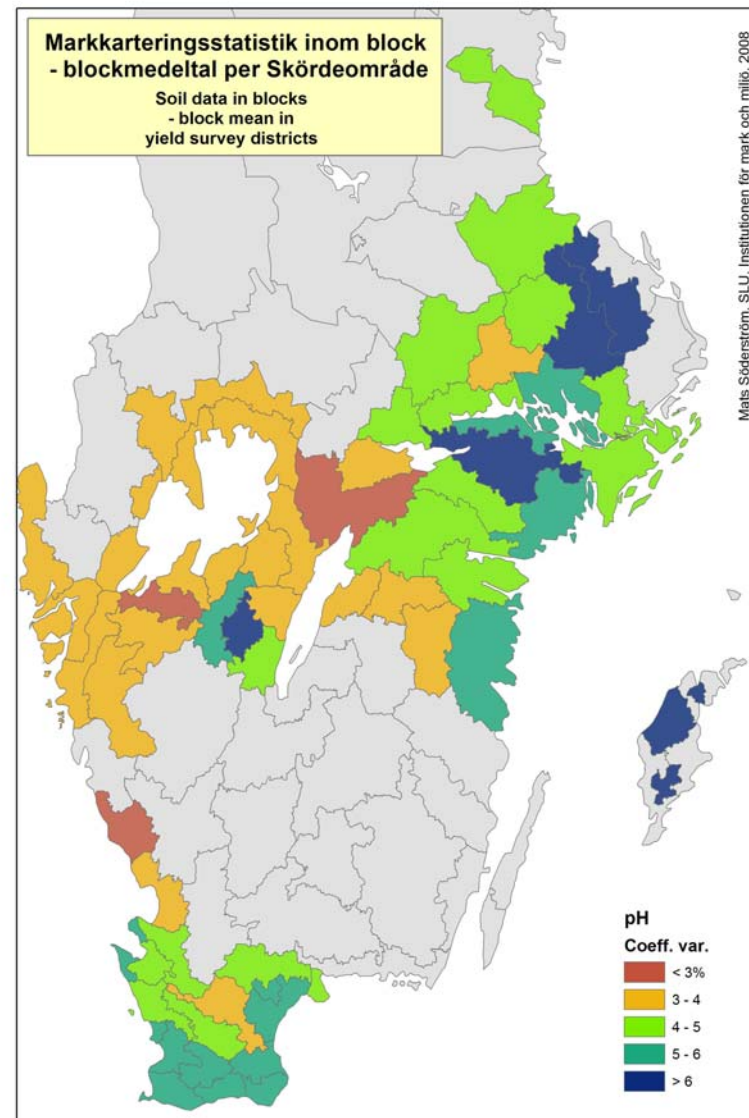
Figur A3. Antal block per skördeområde med AL-data



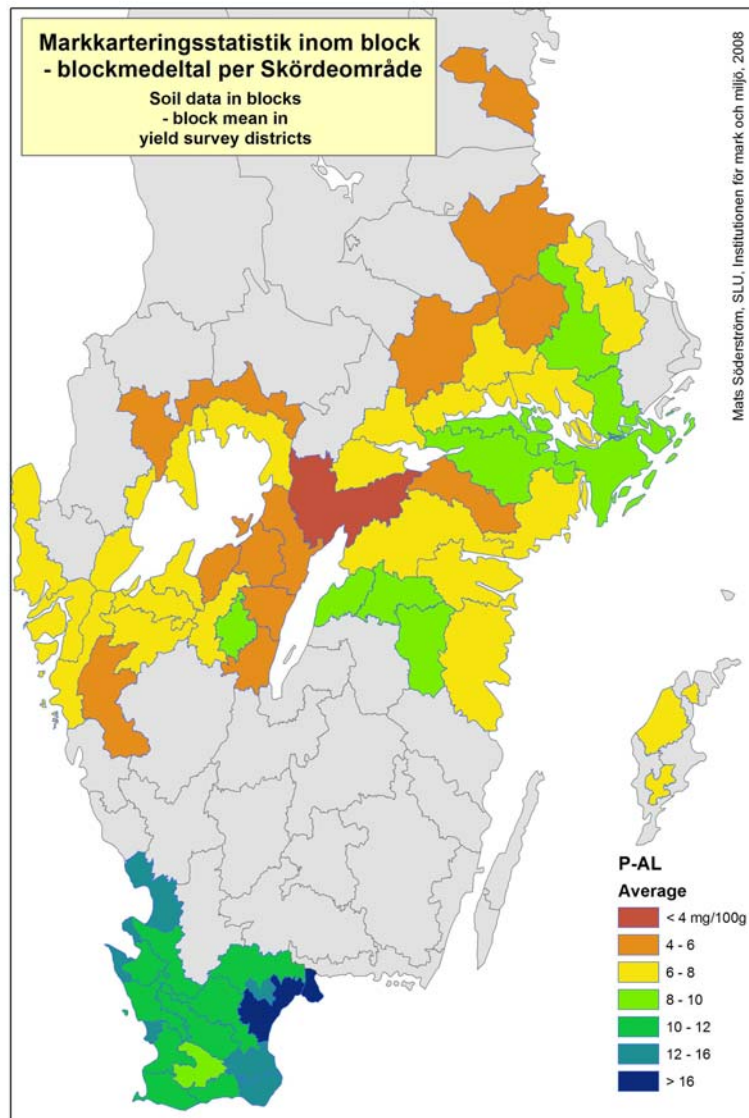
Figur A4. Antal block per skördeområde med HCl-data



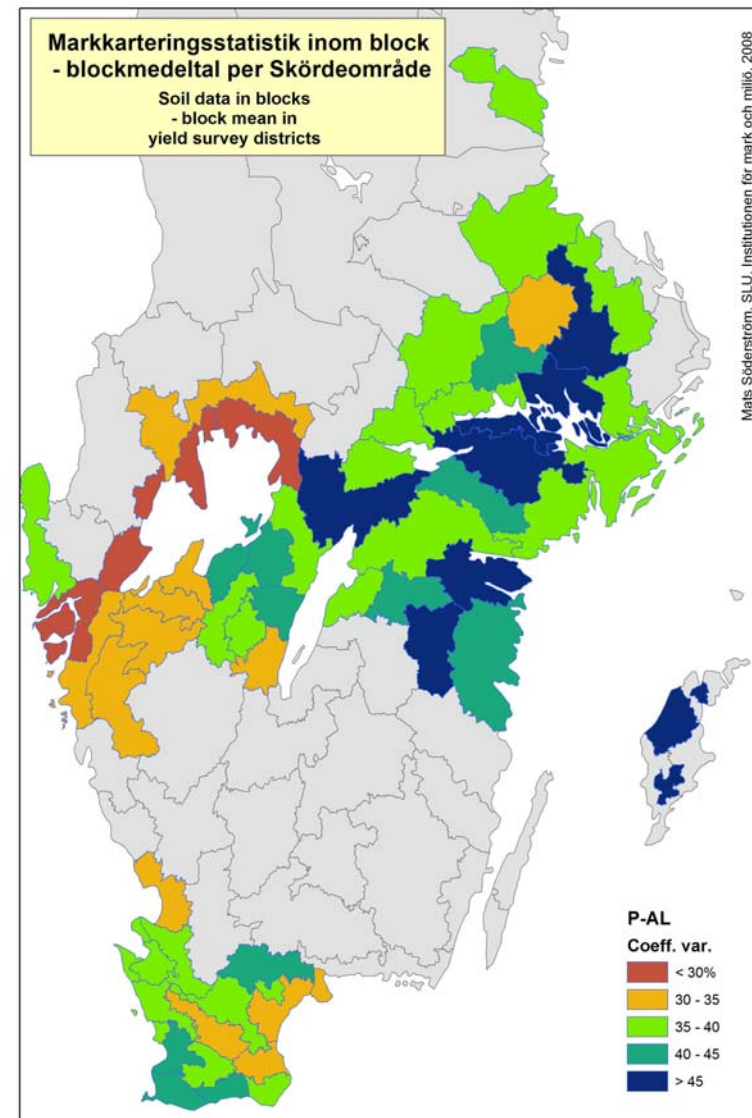
Figur A5. pH, blockmedeltal per skördeområde



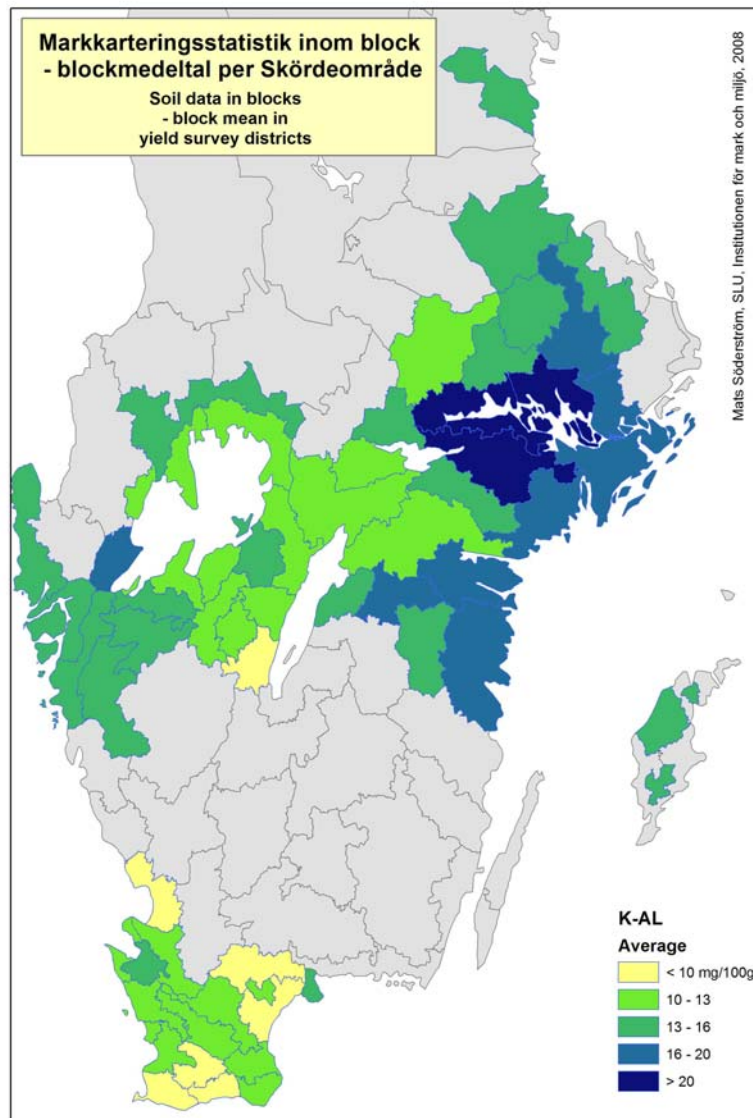
Figur A6. pH, CV i block i medeltal per skördeområde



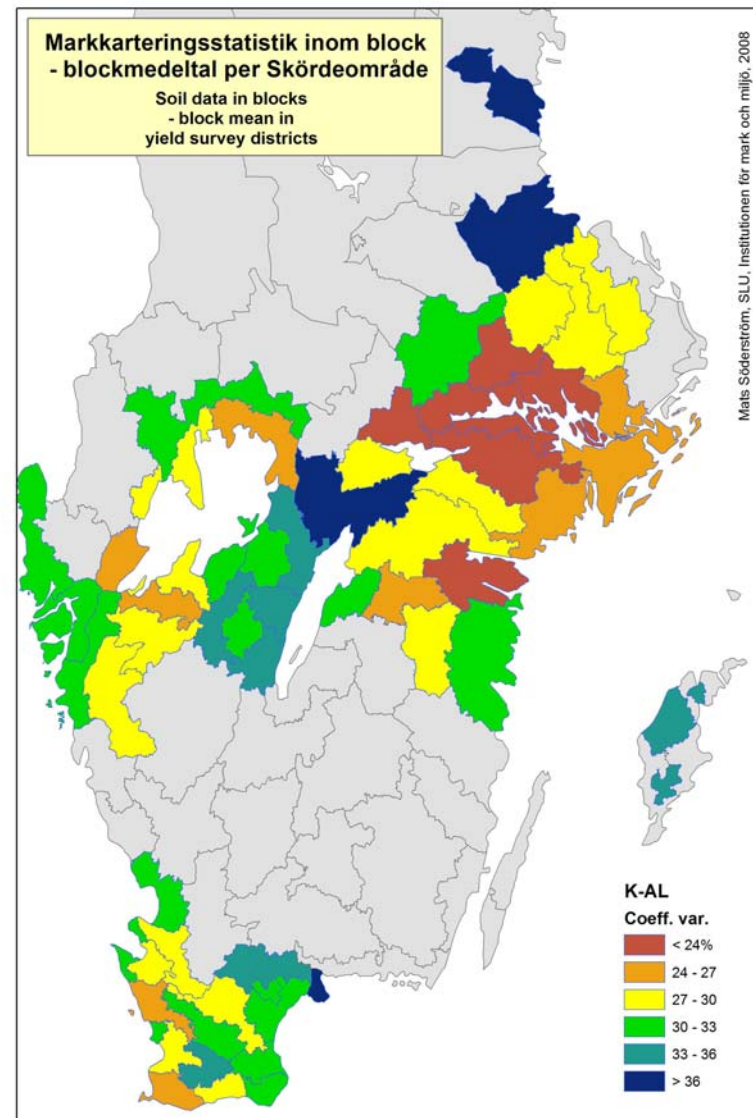
Figur A7. P-AL, blockmedeltal per skördeområde



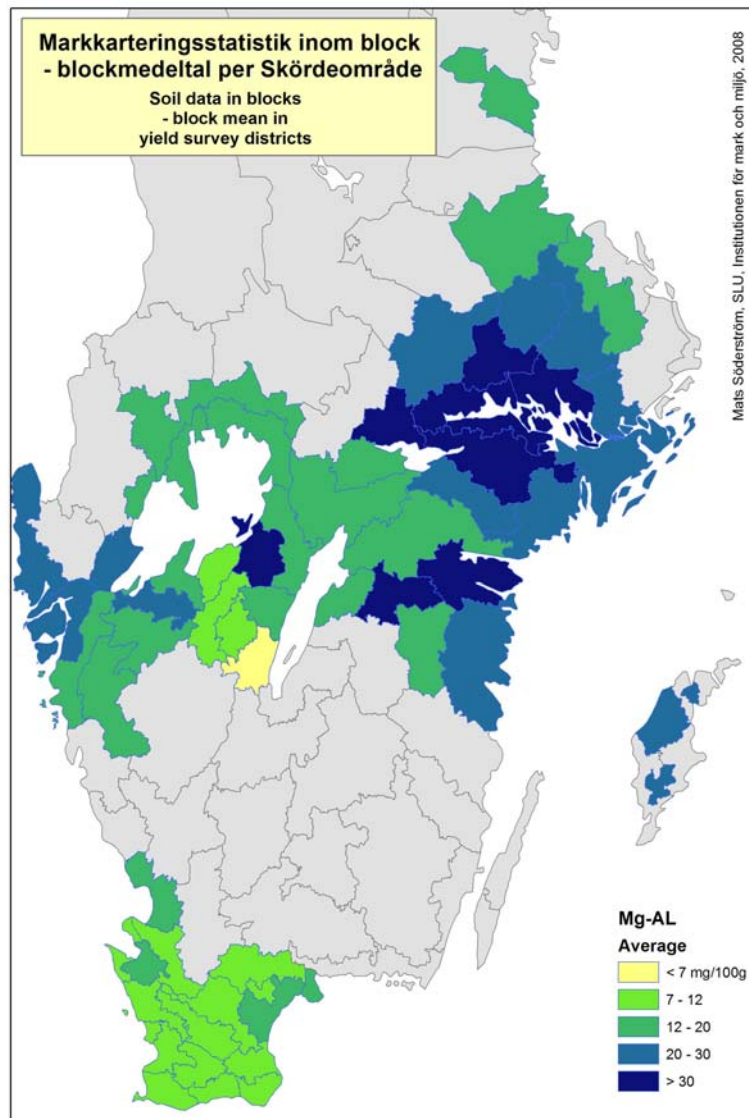
Figur A8. P-AL, CV i block i medeltal per skördeområde



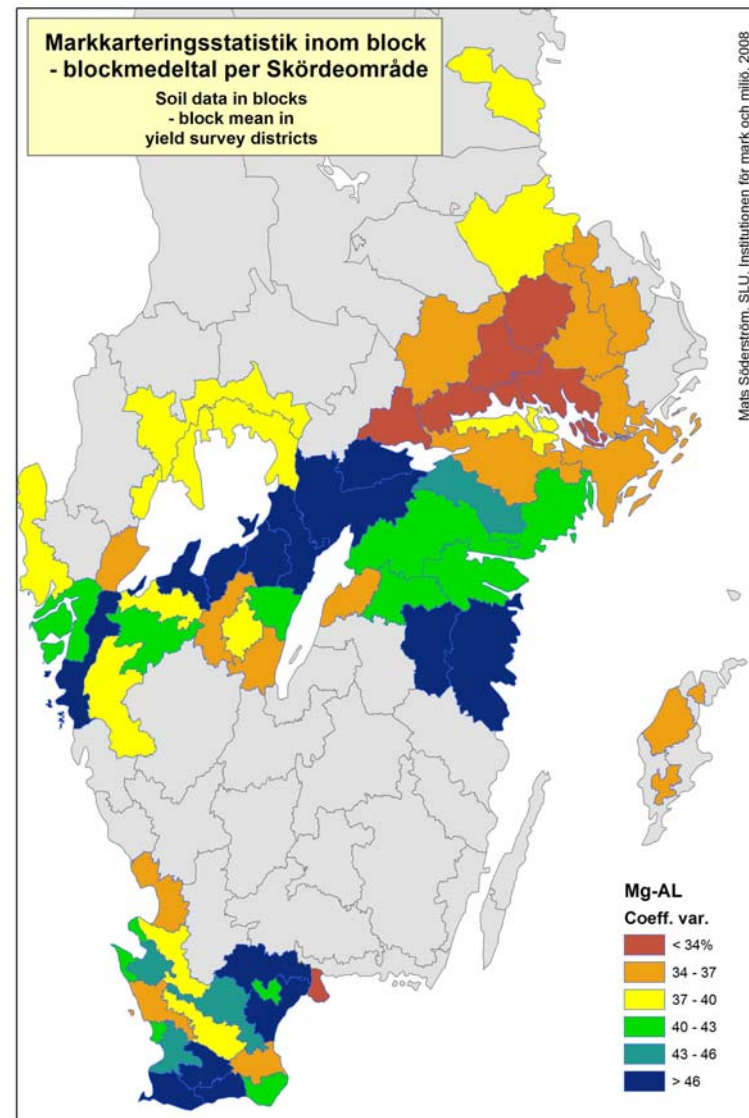
Figur A9. K-AL, blockmedeltal per skördeområde



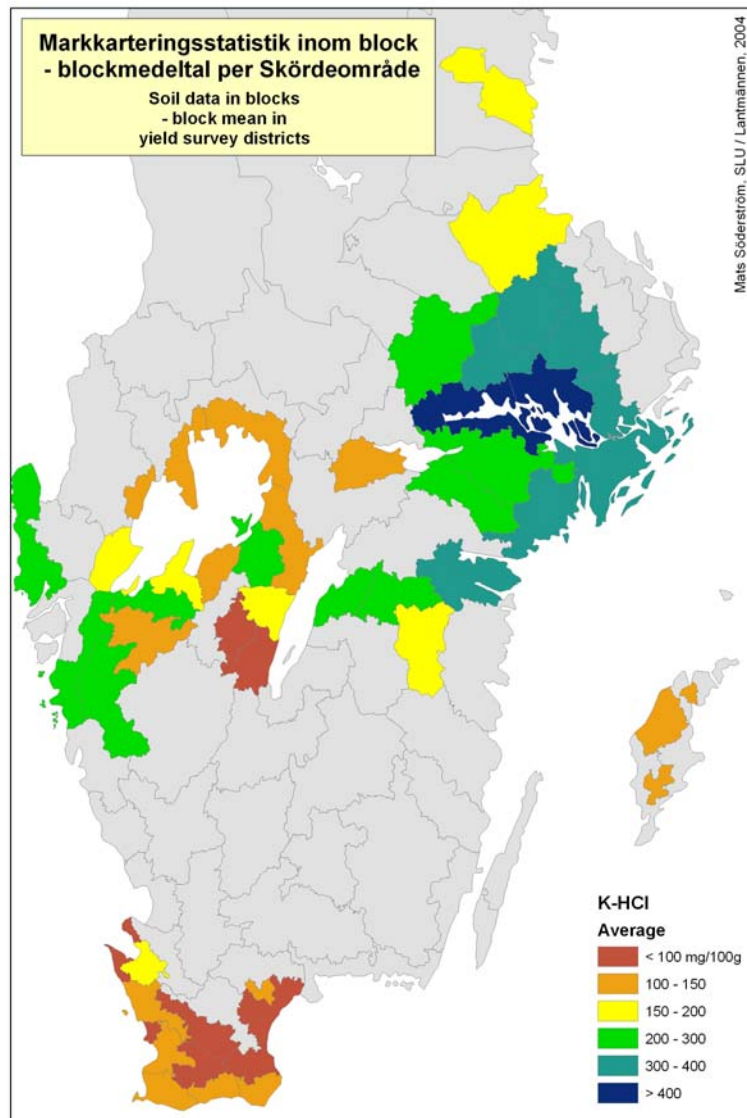
Figur A10. K-AL, CV i block i medeltal per skördeområde



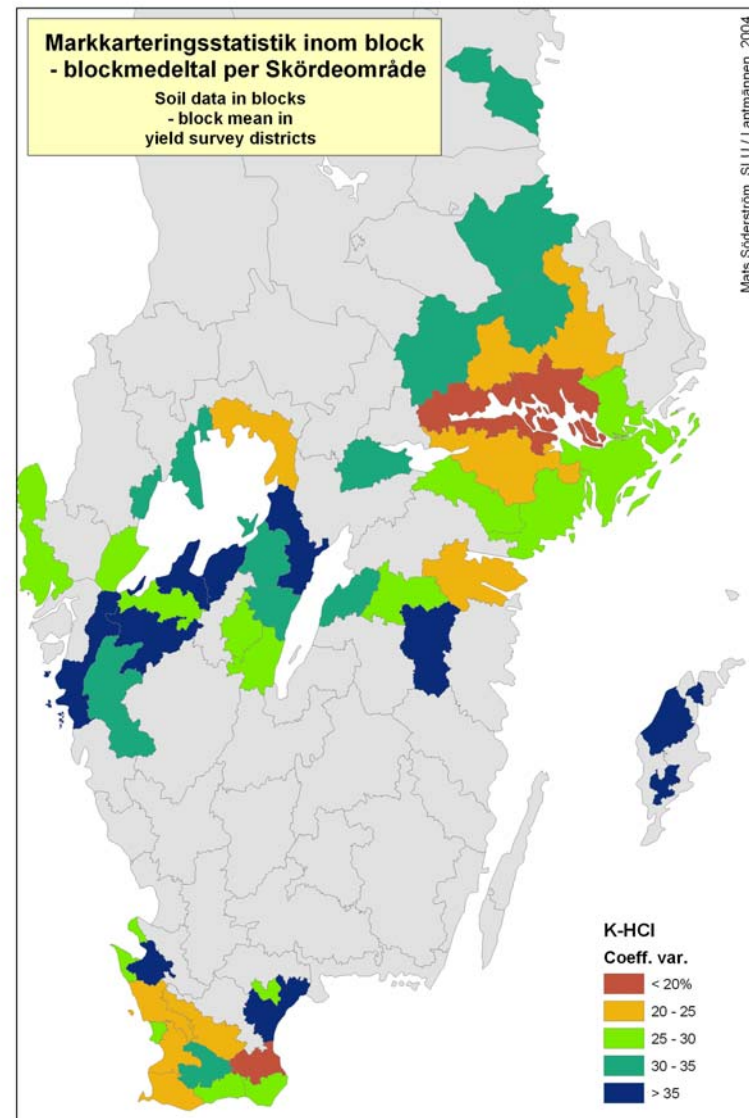
Figur A11. Mg-AL, blockmedeltal per skördeområde



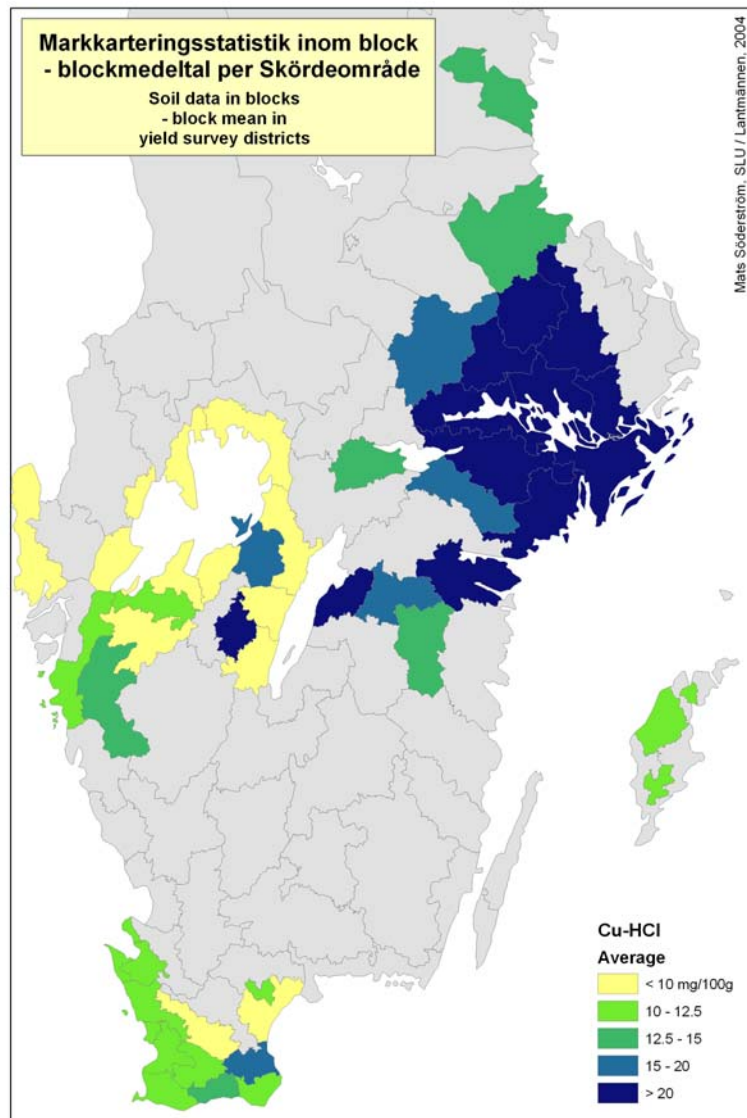
Figur A12. Mg-AL, CV i block i medeltal per skördeområde



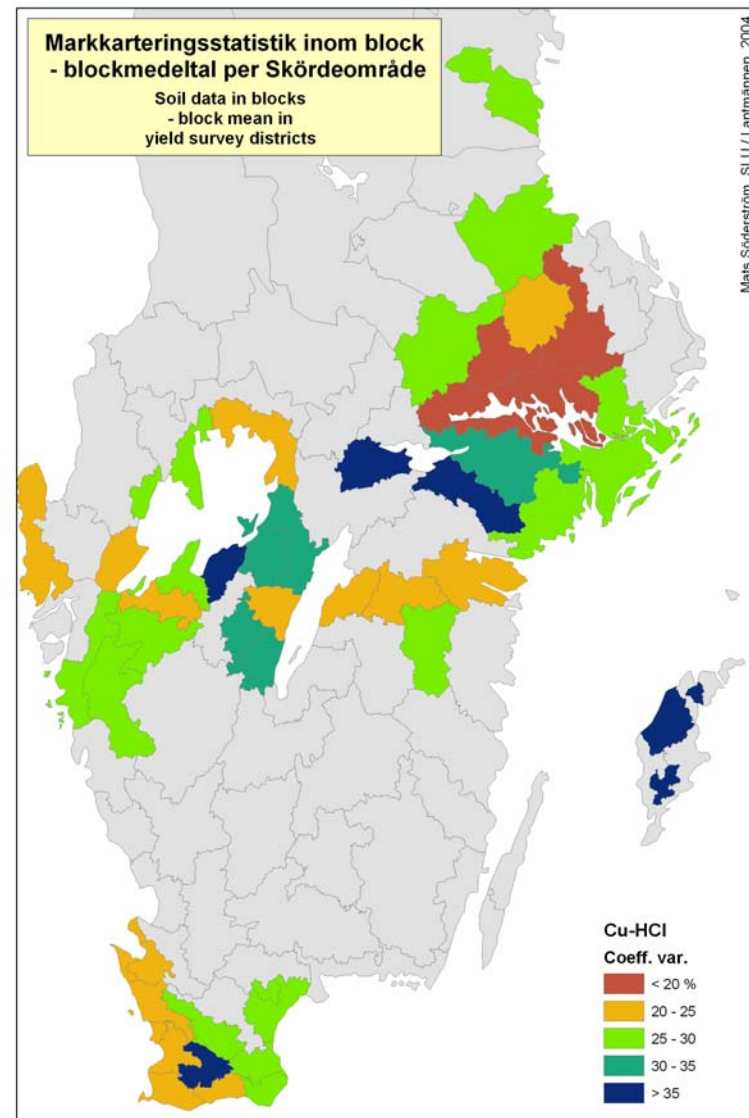
Figur A13. K-HCl, blockmedeltal per skördeområde



Figur A14. K-HCl, CV i block i medeltal per skördeområde



Figur A15. Cu-HCl, blockmedeltal per skördeområde



Figur A16. Cu-HCl, CV i block i medeltal per skördeområde

Bilaga B

Behov och effekt av medelgiva av P, K och kalk – sammanställning av data från 32 gårdar i Mellansverige

Mats Söderström, Inst. f. mark och miljö, SLU, Skara

Syfte

Avsikten med denna sammanställning är att ge en översiktlig bild av variationen i behovet av fosfor (P), kalium (K) och kalk inom gårdar i Mellansverige. Fokus ligger på att belysa den spridning av näring och kalk som överstiger det egentliga behovet enligt markkarteringen, d.v.s. den mängd som sprids på platser där behovet understiger medelgivan. Detta är en enkel form av bedömning av de potentiella ekonomiska och miljömässiga vinster som varierad gödsling kan medföra.

Underlag

Undersökningen begränsades till Mellansverige, där markkarteringsdata från 32 gårdar slumpvis valdes ut. Spridningen är någorlunda jämn i området, dock saknas gårdar från t ex Uppland (Figur B1).



Figur B1. Den geografiska spridningen av de undersökta gårdarnas läge.

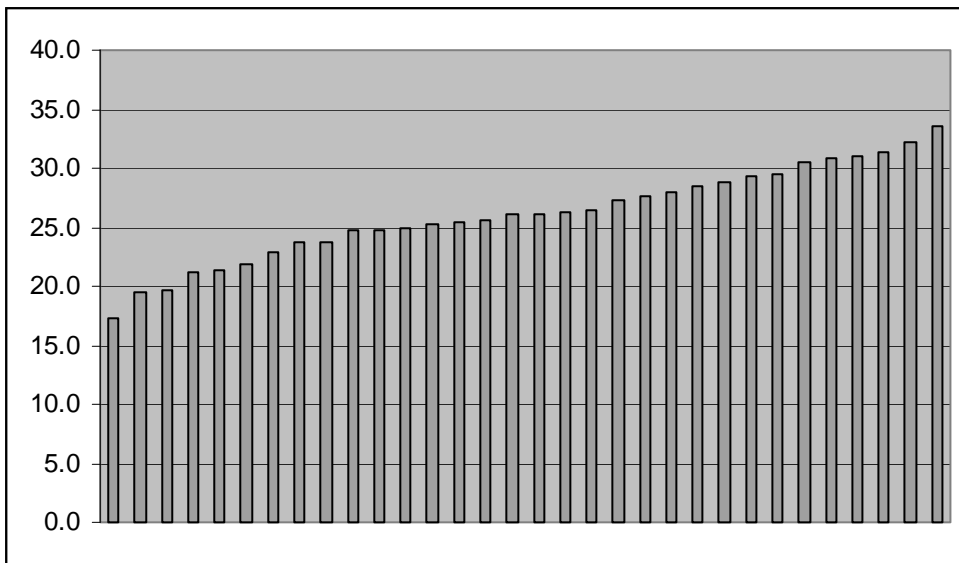
Antal prover per gård var ca 1 prov/ha. Variationen i storlek mellan gårdarna var ganska stor, vilket medförde att antalet prover varierade mellan 13-201 med ett medel på 84 prover. Behovet av P, K och kalk utfördes med den metodik som används idag av Lantmännen och AnalyCen och som beskrivs i växtodlingsguiden Växtodlaren. För kalkbehovsberäkning utnyttjades den metod som förutom pH bygger på K-HCl samt mull. I de fall inte de senare fanns tillgängliga angavs en medelmullhalt på 4% (10 gårdar) samt en medelhalt K-HCl på 190 mg/100g (1 gård, motsvarande ca 20% ler). Dessa siffror är hämtade från Eriksson m fl, 1998¹⁾. För P- och K-behovsberäkning har grödan angetts till höstvet och den förväntade skörden 6500 kg/ha. När det i resultatdelen talas om avvikelser från medelgiva av P och K, avses den beräknade medelgivan +/- 2,5 kg/ha.

1) Eriksson J, Andersson A & Andersson R, 1998, Åkermarkens matjordstyper. Forskningsrapport. Examens- och seminariearbete nr 35, Inst för markvetenskap, SLU

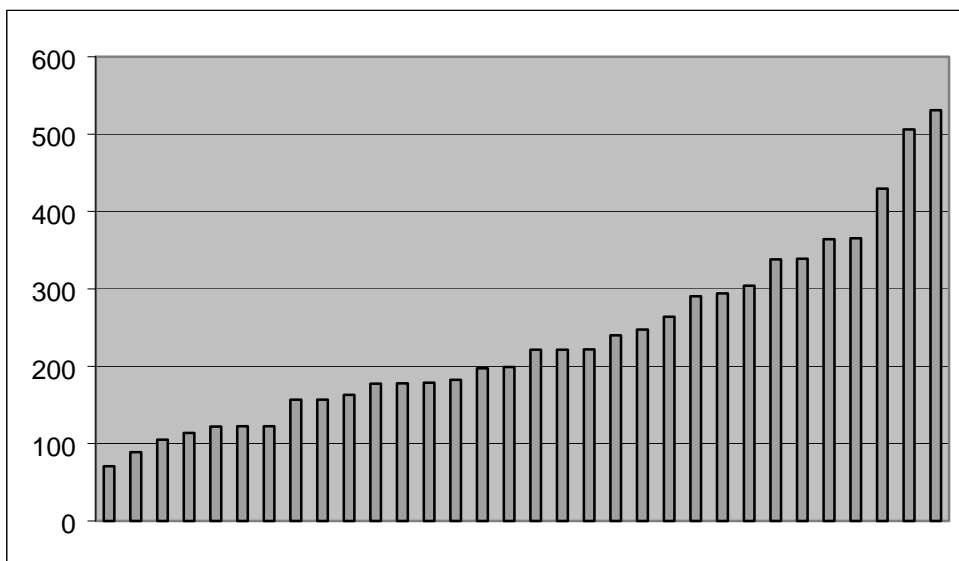
Resultat

Fosfor

Medelbehovet av fosfor per gård (Figur B2) beräknades till 26 kg P/ha (min 17; max 34). Av tabell 1 framgår hur stor del av arealen per gård där medelgivan är för hög respektive för låg. Man kan se att för 25% av arealen ger spridning av gårdens medelbehov (+/- 2,5 kg) i genomsnitt 10 kg P/ha för mycket. För hela 40% av arealen är medelbehovet lägre än det aktuella behovet. Figur B3 är ett räkneexempel där det antagits att uppgifter från respektive undersökt gård (areal under medelbehov samt P-överskott) gällt för en gård på 100 ha. I figuren är medelöverskottet 234 kg P, i snitt således 2,34 kg P för mycket per ha för hela gården.



Figur B2. Medelbehov av P (kg/ha) per gård. Medelbehovet uppgick till drygt 26 kg/ha.



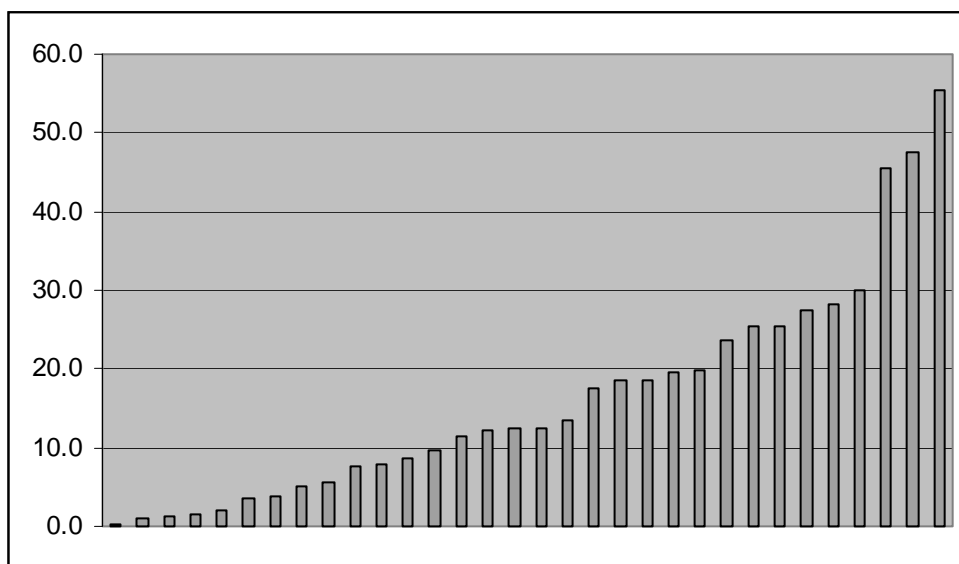
Figur B3. Överskott av P (i kg) för den del av gården som har ett P-behov som ligger under medelbehovet. Här har antagits att alla gårdar är 100 ha.

Tabell 1. Effekten av spridning av fosfor enligt gårdens medelbehov.

Areal där medelgivan P är:	Procentuell andel	Medelavvikelse från medelgiva
- korrekt	35%	
- för hög	25%	10 kg P/ha
- för låg	40%	5 kg P/ha

Kalium

Medelbehovet av kalium per gård uppgick till 16 kg K/ha. Variationen var betydligt större än för fosfor. Max-behovet beräknades till 55 kg K/ha medan någon gård helt saknade behov av K (Figur B4). För hela 40% av arealen låg det aktuella behovet under medelgivan (+/- 2,5 kg) och uppgick i snitt till 9 kg K/ha.

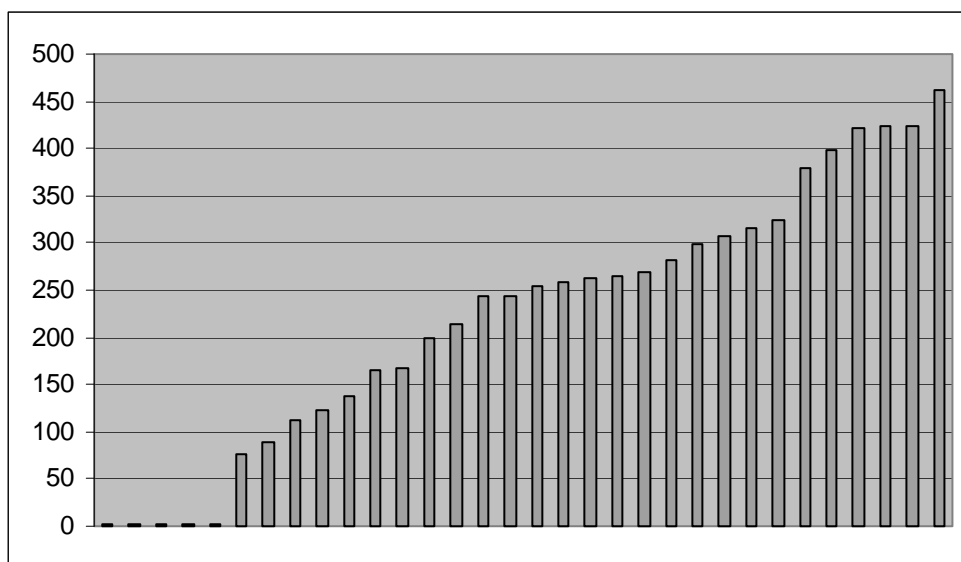


Figur B4. Medelbehov av K per gård. Medelbehovet uppgick till drygt 16 kg/ha.

På liknande sätt som för fosfor, är Figur B5 ett räkneexempel där det antagits att uppgifter från respektive undersökt gård (areal under medelbehov samt K-överskott) gällt för en gård på 100 ha. I figuren är medelöverskottet 223 kg K, i snitt således 2,23 kg P för mycket per ha för hela gården. Man kan notera att variationen är större än för fosfor och flera (5) gårdar

Tabell 2. Effekten av spridning av kalium enligt gårdens medelbehov.

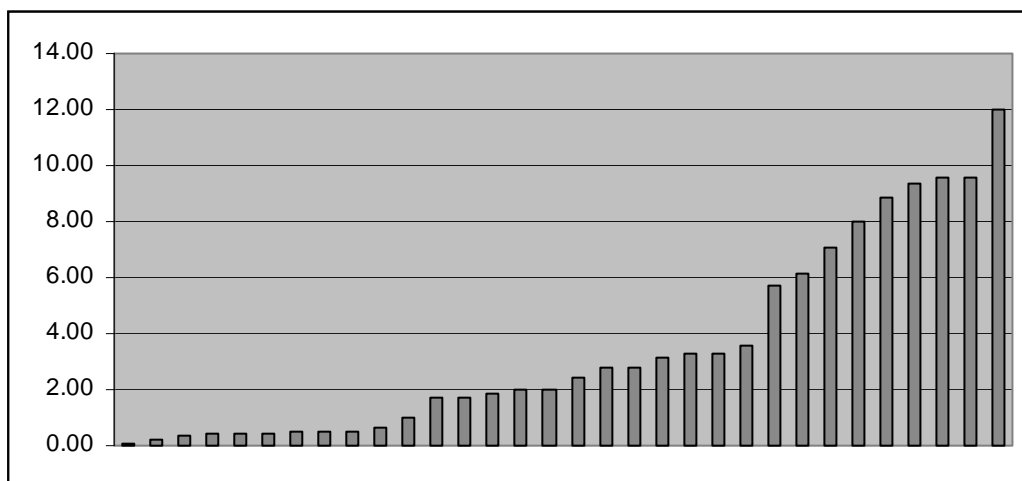
Areal där medelgivan K är:	Procentuell andel	Medelavvikelse från medelgiva
- korrekt	25%	
- för hög	40%	9 kg K/ha
- för låg	35%	12 kg K/ha



Figur B5. Överskott av K (i kg) för den del av gården som har ett K-behov som ligger under medelbehovet. Här har antagits att alla gårdar är 100 ha.

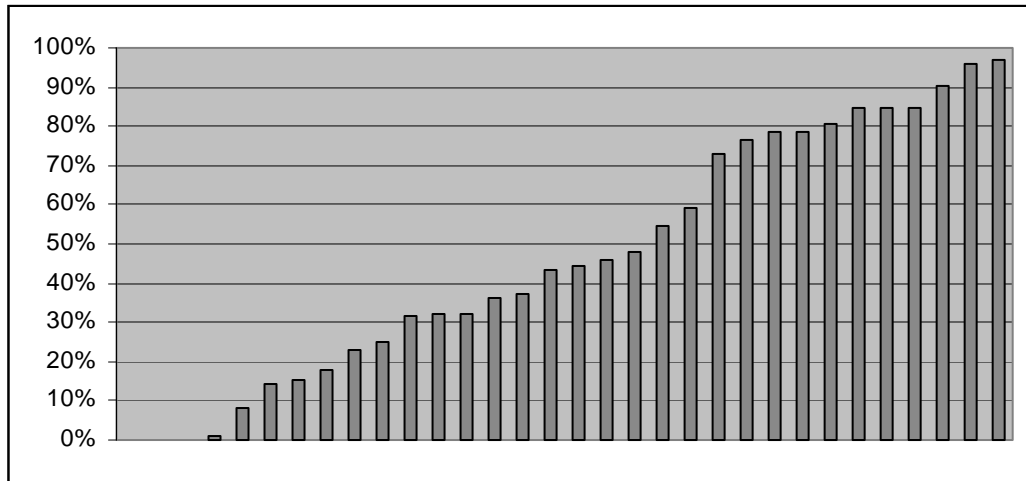
Kalk

Medelkalkbehovet för dessa gårdar uppgick till 3,5 ton/ha. Variationen var betydande, mellan 0 och 12 ton/ha (i medeltal per gård) (Figur B6).

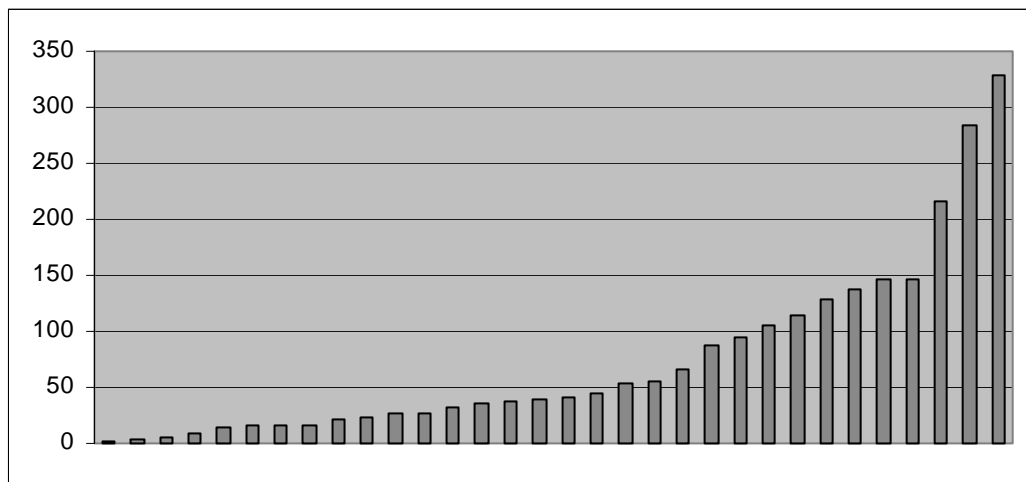


Figur B6. Medelkalkbehovet för undersökta gårdar (medel = 3,5 ton/ha (50% CaO)).

Lite mer än hälften av arealen på gårdarna behöver kalkas, resterande del har alltså inget kalkbehov (Figur B7). Variationen i procent är stor, från inget behov till nära 100% av gårdens areal. Den areal som har ett behov som är lägre än medelbehovet får i genomsnitt 2 ton kalk för mycket. Dock är variationen stor – mellan 0 och drygt 6 ton kalk/ha för mycket. Om man räknar om siffrorna för respektive gård och antar att varje gård är 100 ha, och bara ser på den del av arealen som har ett behov som är lägre än medeltalet, kan man se att det i medeltal sprids 0.74 ton kalk för mycket per hektar (Figur B8).



Figur B7. Andel av areal per gård som har ett kalkbehov. Medeltalet ligger på drygt 50 %.



Figur B8. Överskott av kalk (i ton) för den del av gården som har ett K-behov som ligger under medelbehovet. Här har antagits att alla gårdar är 100 ha. Medeltalet är 74 ton.

Diskussion och slutsatser

Redovisade siffror fokuserar på att konsekvensen av spridning av jämna givor. En vanlig markkartering ger underlag för bl a beräkning av P-, K- och kalkbehov, men ofta används inte informationen fullt ut på gården. Siffrorna och exemplen bygger på att undersöka hur stor del av de undersökta gårdarna som har ett behov av P, K och kalk som har ett behov som är lägre än medelbehovet. Dessa siffror är lätta att utnyttja då man vill visa hur mycket som sprids ”i onödan”, och genom att minska denna onödiga del av givan kan man direkt minska kostnaderna utan att riskera att få någon negativ effekt på t ex skördenivåer, och samtidigt minska eventuell miljöbelastning.

Numera har ekonomiska kalkyler tagits fram som gör det möjligt för lantbrukaren att enkelt uppskatta den ekonomiska effekten av att anpassa gödslingen. Sådana kalkyler finns t ex på Precisionsodling Sveriges (POS) hemsida: www.agrovast.se/precision.

Bilaga C

Indelning av jordbruksskiften i brukningszoner med hjälp av markens ledningsförmåga

– skillnader i markegenskaper och skörd inom tre skiften i Västergötland

Mats Söderström, Inst f mark och miljö, SLU, Skara

Inledning

Internationellt har den praktiska användningen av mätinstrument som ger en uppfattning om markens elektriska ledningsförmåga (konduktivitet) blivit allt mer utbredd (King & Dampney, 2000). Anledningen är bl a en önskan att kunna förbättra den detaljerade karteringen av markegenskaper inom enskilda jordbruksskiften. Detta har blivit alltmer väsentligt sedan s k precisionsodling (Lundström m.fl., 2001) tillämpas i allt större omfattning. Den traditionella markkarteringen med ca 1 prov ha⁻¹ är i många fall otillräcklig (och ofta mer lämpad för beräkning av medelvärden för hela skiften) om man önskar att någorlunda säkert kunna beräkna värden genom interpolation på fältets alla delar, kanske helst ett beräknat värde för varje 10x10 m yta. Denna typ av precisionsodling, där man betraktar varje variabel som kontinuerlig, ställer stora krav på de data som används som bas för beräkningarna som görs. Om inte dessa krav uppfylls (krav som bl a innefattar att ett tillräckligt stort antal jordprover tagits, vilka bör vara spridda på ett lämpligt sätt över den aktuella ytan), finns risken att beräknade värden på t ex närings- och kalkbehov är oacceptabelt osäkra.

Ett alternativ till att försöka hantera fält som kontinuerliga ytor är att indela skiften i mindre områden, s k brukningszoner (eng. *management zones*). Detta är i flera avseenden en enklare åtgärd än den detaljerade formen av precisionsodling som beskrivits ovan. Avsikten bör i normalfallet vara att skapa områden som är mer homogena i jämförelse med hela skiftet, t ex avseende markegenskaper. Om detta är möjligt bör lokala medelbehov av t ex kalk- och näringsämnen, som då beräknas för respektive brukningszon, vara betydligt mer korrekta att använda än medelbehov som beräknas för hela fältet. En nackdel som finns inbyggd i den här modellen av precisionsodling är att man erhåller distinkta gränser mellan brukningszonerna där en abrupt förändring av t ex markegenskaper förväntas ske. Detta är givetvis i normalfallet en avvikelse från verkligheten. Man kan se användningen av brukningszoner som en kompromiss mellan den traditionella, skiftesbaserade växtodlingen och den fullt tillämpade, kontinuerliga precisionsodlingen.

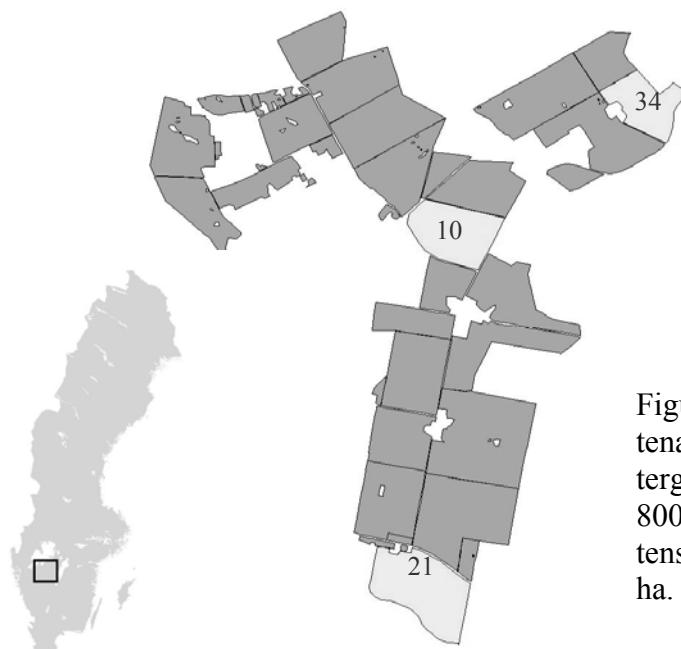
En indelning av skiften i brukningszoner kan göras på många sätt, t ex med avseende på topografi (Pilesjö m fl, 2000), skördekartor eller markegenskaper. För att göra en sådan indelning så bra som möjligt, d v s så att områdena blir så homogena som möjligt och så att gränsen mellan områdena hamnar på "rätt ställe", bör man ha ett detaljerat underlag (geografiskt sett) som är kopplat till de egenskaper man vill basera sin indelning på. För att vara praktiskt tillämpligt bör det även vara relativt billigt. Mätning av markens elektriska ledningsförmåga (konduktivitet) har därför blivit intressant bl a för detta ändamål (Gilbertsson, 2001; Nehmdahl & Greve, 2001). Exempel på mätinstrument för konduktivitet är t ex VERIS och EM38 (Fleming & Westfall, 1999). Finessen med des-

sa instrument är att de relativt snabbt kan kartera ett skifte med en hög detaljeringsgrad. Resultatet blir en digital kartbild som visar markens konduktivitet (ECa), vilken i vanliga jordar i vår del av världen i huvudsak visat sig styras av lerhalten (King & Dampney, 2000).

Syftet med detta arbete var att undersöka huruvida en indelning i brukningszoner med utgångspunkt från mätning av ECa med enbart EM38 gav zoner med olika markegenskaper (definierat som det som mäts vid en markkartering). Tanken var att även jämföra skördenivåer och gödselbehov mellan sådana zoner.

Material & metoder

Mätning av konduktivitet utfördes på 3 skiften på gården Bjertorp i Västergötland 9-10 maj 2000 (Figur C1) med instrumentet EM38 (tillverkad av det kanadensiska företaget Geonics Ltd). Instrumentet drogs av en fyrhjulig motorcykel som utrustats med DGPS (satellitpositioneringsutrustning med korrektionssignal för ökad positionsnoggrannhet (< 2 m)) och en datalogger som fortlöpande registrerade ECa och GPS-position (Figur C2). EM38 bygger på principen om elektromagnetisk induktion. Instrumentet både genererar ett magnetfält och mäter styrkan på ett sekundärt magnetfält som uppkommer i marken. Styrkan på det senare varierar med markens beskaffenhet och jordprofilen ned till ca 1 m har störst inverkan på mätvärdet (King & Dampney, 2000). Mätning gjordes i drag med ca 12 meter emellan, d v s längs befintliga körspår samt ett drag mellan varje körspår. I genomsnitt var det 5-7 m mellan varje registrerad mätpunkt i dragen, något varierande beroende på motorcykelns hastighet.

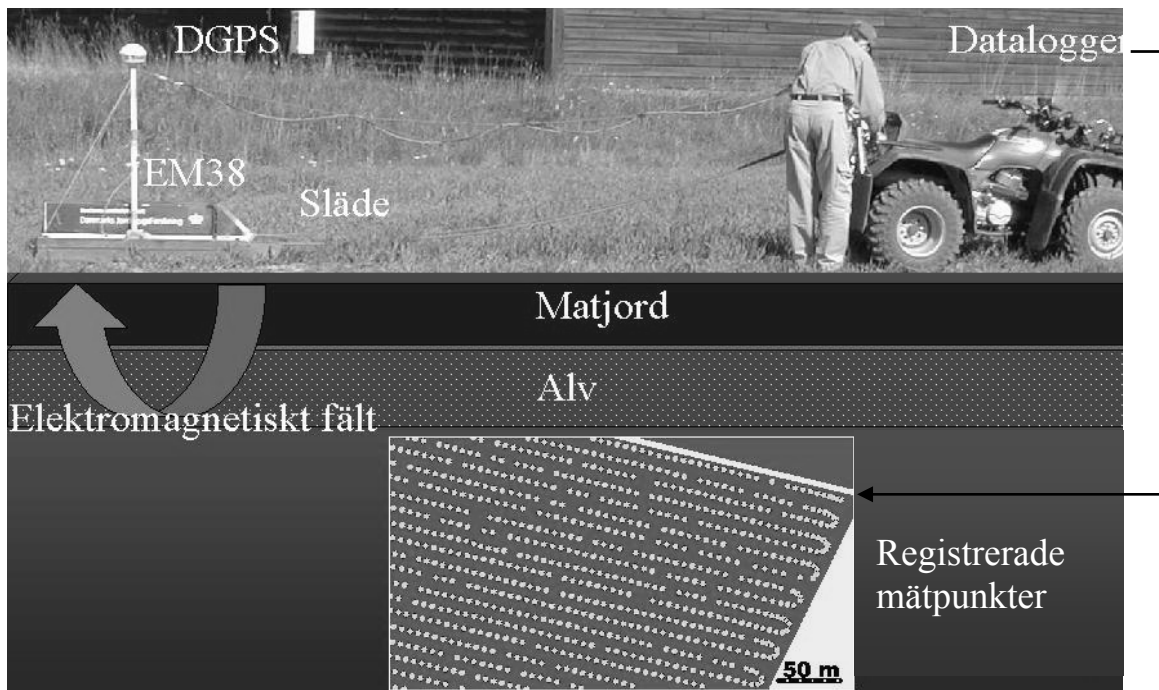


Figur 1. De tre undersökta skiftena på gården Bjertorp i Västergötland. Gården är totalt ca 800 ha och de undersökta fälternas areal är mellan 26 och 47 ha.

EM38 värdena ger ett relativt mått på konduktiviteten. Mätning vid olika tidpunkter på året (då marken har olika vattenhalt) ger andra nivåer, men normalt är den relativa skillnaden likartad, så att områden med höga respektive låga värden normalt är de samma (Nehmdahl & Greve, 2001).

Konduktivetsdata filtrerades på avvikande värden (några lokalt, kraftigt förhöjda värden på skifte 10 och 21). Resterande mätvärden interpolerades till ett rutnät om 10x10

m genom en geostatistisk metod benämnd lokal kriging (Minasny m.fl., 1999). Denna metod bör ge det mest sannolika medelvärde för den aktuella rutan. Vid en sådan beräkning sker en viss utjämning jämfört med de ursprungliga värdena. De resulterande konduktivitetskartorna kan ses i Figur C3.

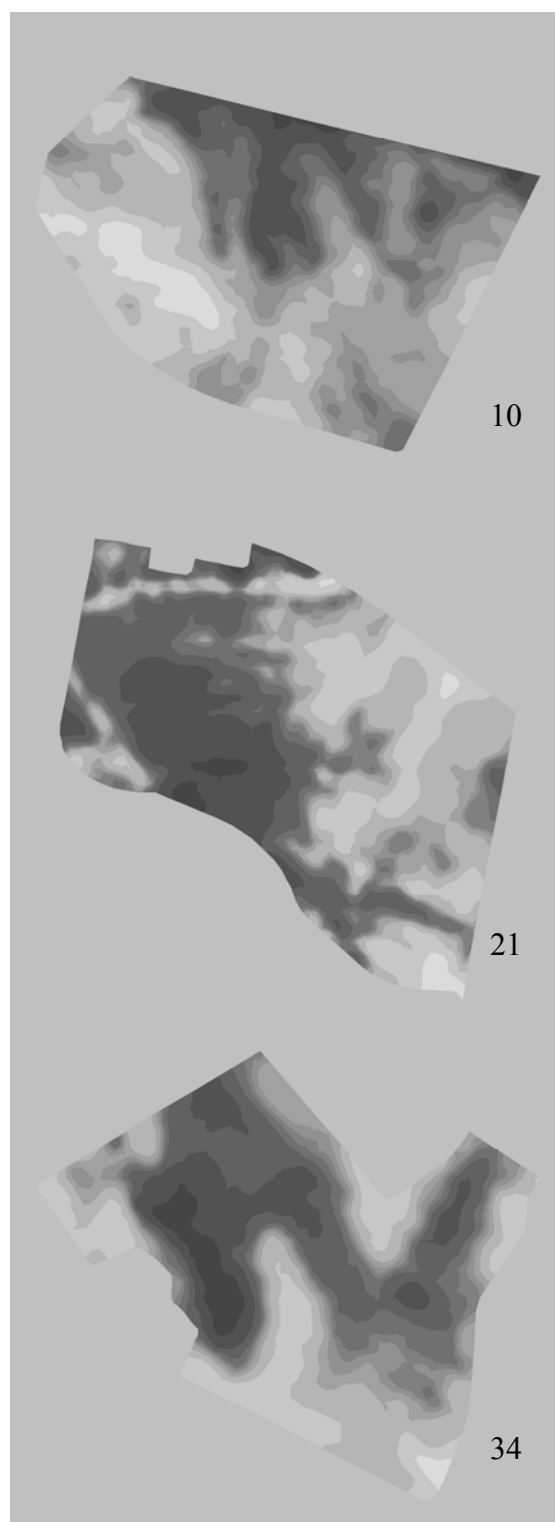


Figur C 2 . Principen för mätning med EM38

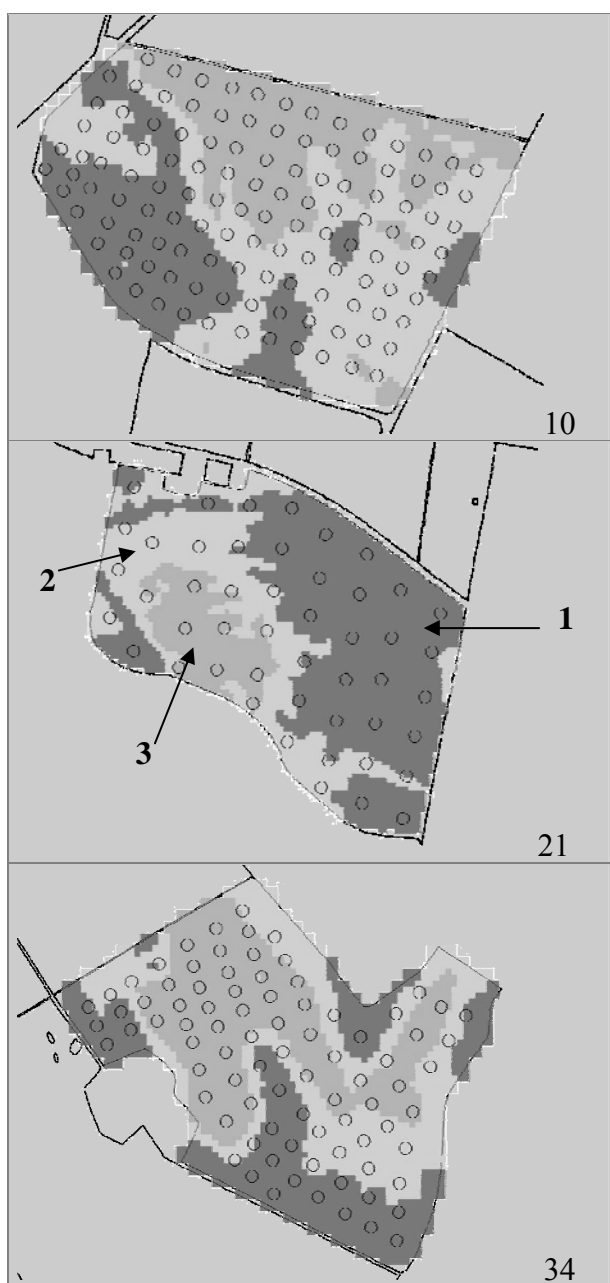
Dessa kartor användes som grund för en indelning i brukningszoner. Varje fält indelades i 3 brukningszoner genom en enkel klassificering av konduktivitetskartan enligt Fisher-Jenks algoritm – även benämnd ”Jenks’ optimala metod” (Slocum, 1998). Denna metod skapar klasser inom vilka variansen minimeras. Således bör denna klassindelning vara en bra utgångspunkt om man baserar klassificeringen på en variabel. En matematisk indelning och klassificering av mätdata, som gjorts i det här fallet, kan medföra att zoner skapas som består av en mängd mindre isolerade ytor, och inte större sammanhängande ytor, som torde vara mer lättbrukade rent praktiskt. Såvida utrustning avsedd för precisionsodling finns tillgänglig är emellertid inte detta ett alltför stort problem. Utrustning för t ex spridning av P- eller K-gödselmedel, som styrs av datafiler som visar behovet på fältets olika delar, kan hantera detta automatiskt. Trots detta gjordes här en viss bearbetning av de först erhållna kartbilderna som skapades, för att i någon mån erhålla mer sammanhängande zoner. En generaliseringsmetod användes som medför att delytor mindre än en fritt angiven storlek (här sattes gränsen till 2 ha) tas bort och ersätts med grannytans värde. Markkarteringsdata från provtagning utförd under februari 2000 användes för att jämföra de olika analyserade markparametrarnas värden mellan de olika brukningszonerna. Analyserade parametrar var pH (H₂O), P-AL, K-AL, K-HCl, Mg-AL, Cu-HCl, mull- och lerhalt. Analyserna genomfördes enligt det standardutförande som används inom markkarteringen i Sverige (Jordbruksverket, 2000).

Dels sammanställdes sammanfattande statistik för respektive parameter och zon och dels en variansanalys för att påvisa eventuella betydande skillnader mellan de olika zonerna.

På samma sätt gjordes en jämförelse mellan brukningszonerna avseende skörde-variationer. Skördedata från skördekartering som utförts med hjälp av skördetröska utrustad med skördemonitor och DGPS fanns tillgänglig för tre år på respektive skifte (dock ej samma år för alla fält). Dessa skördedata var filtrerade (enligt en metod beskriven av Nissen & Söderström (1999)) och interpolerade till ett 20 m rutnät med hjälp av metoden lokal kriging (Minasny m.fl., 1999). Skördedata för varje fält och år normaliserades till relativa tal (med 1,00 som medelvärde) genom division med den beräknade medelskörden.



Figur C3. Kartor över konduktivitet för de undersökta skiftena. Färgskalan är endast relativ inom varje enskilt skifte och kan inte jämföras mellan skiftena. Mörk gråton indikerar hög konduktivitet. Skiftesarealer redovisas i Tabell 1



Figur C4. Brukningszoner (numrerade 1-3) för de tre studerade skiftena. Varje skifte indelades i tre zoner. I några fall är zonerna ej sammanhängande ytor. I kartbilderna visas även jordprovernans position..

Resultat

De resulterande kartbilderna över brukningszoner visas i Figur C4. Där framgår även jordprovernans position. För skifte 10 och 34 var jordprovtätheten ca fyra prov ha^{-1} medan den för skifte 21 var 1 prov ha^{-1} .

Sammanfattande statistik för respektive skifte och klass visas i tabellform i Bilaga C1. Man kan notera att det är förhållandevis stora skillnader i lerhalt både inom och mellan skiftena. Skifte 10 har den lättaste jorden med en lerhalt på mellan 4 och 30 % med ett medelvärde på knappt 10 %. Skifte 21 har en medellerhalt på 27 % (min 9 - max 45 %) medan skifte 34 är lerigast med 48 % i medeltal (min 17 - max 62 %). Det är således en betydande variation i lerhalt inom de undersökta fälten. Man kan inte här bedöma om dessa fält är representativa för jordbruksfält inom slättområden.

Tabell 1. Skiftesareal (i ha) och areal för respektive zon.

Skifte	Totalt	zon1	zon 2	zon3
10	35,7	10,5	15,2	10,0
21	46,7	26,2	14,6	5,9
32	26,5	8,3	9,1	9,1

För att undersöka om skillnaderna i markegenskaper mellan brukningszonerna 1-3, som redovisas i Bilaga C1, är signifikanta gjordes en variansanalys för respektive parameter och skifte. Detta trots att stickprov som till delar är spatialt korrelerade medför att kravet på av varandra oberoende prover åsidosätts (Hong m.fl., 2005). Här har antagits att analysen trots denna problematik ger en viss värdering av eventuella skillnader mellan zonernas markvärden. I Tabell 2 visas p -värden för varje parameter och skifte. I tabellen framgår att indelningen i brukningszoner medfört att det enligt analysen finns statistiskt

Tabell 2. Resultat av variansanalys där en jämförelse har gjorts mellan olika markparametrar i respektive brukningszon för tre skiften.

Variabel	Skifte		
	10	21	34
Ler	***	***	***
Mull	***	***	***
pH(H ₂ O)	ns	***	**
P-AL	***	*	**
K-AL	***	***	**
K-HCl	***	***	***
Mg-AL	***	***	***
Cu-HCl	*	***	***

*** = $p < 0.001$; ** = $0.001 < p < 0.01$; * = $0.01 < p < 0.05$;

ns = $p > 0.05$

signifikanta skillnader i analyserade jordvariabler samt även när det gäller skördedata mellan de olika zonerna i de flesta fallen. I många fall är $p < 0.001$, vilket tyder på att åtminstone en av zonerna avviker markant från de övriga.

Erfarenheter från mätningar med EM38 i projektet indikerar att framförallt lerhalt och variabler som ofta är starkt knutna till ler (t ex K-AL, K-HCl, Mg-AL och Cu-HCl) normalt samvarierar med konduktivitet i våra jordar. Dessa bör vara de som bäst klassificeras med en konduktivitetmätning. Detta stämmer till viss del enligt Tabell 2, men även mullhalt, och till exempel P-AL och pH skiljer sig i de flesta fall signifikant åt mellan zonerna. De två sistnämnda har, inte oväntat, dock de högsta p -värdena. Även om ett flertal markparametrar påverkar konduktiviteten beror säkerligen till exempel de noterade skillnaderna för fosfor på sekundära effekter. Man skulle kunna förvänta sig att olika jordar ger olika avkastning och därmed olika bortförsel av näringsämnen. Om man tillfört en jämn gödselgiva under många år trots att bortförseln varierat är ett sådant mönster sannolikt.

Emellertid är inte brukningszonernas relativa skördenivå inte helt och hållet stabil i tiden. Med utgångspunkt från de få år med skördedata som ingår i detta arbete är det svårt att finna ett entydigt mönster. Variationen tycks vara särskilt obetydlig för 1997 års skördedata då differensen mellan zonen med högst resp. lägst skörd är $< 5\%$ (Bilaga C1). I vissa fall är dock skördevariationen relativt stor, till exempel för skifte 10 1999 då skillnaden mellan medelskörden i zon 1 och zon 3 var strax över 20% , och på detta fält finns också stora jordartsskillnader.

Praktiska konsekvenser

Vilka konsekvenser får då de påvisade skillnaderna mellan brukningszonerna vad gäller näringsinnehåll och markegenskaper för behovet av näringsämnen och kalk? Även om tydliga skillnader föreligger i markkarterignsdata mellan zonerna, är det inte självklart att detta ger upphov till praktiskt meningsfulla skillnader i rekommenderad gödsling mellan olika zoner. I Tabell 3 anges behovet av P, K, Cu och Mg i respektive brukningszon samt för hela skiftet i medeltal. Beräkningarna har gjorts enligt den metodik som användes av Lantmännen 2000. Här har antagits att grödan är höstvet och att den förväntade skörden är 6500 kg ha^{-1} . För kalk anges behovet av kalk (med 50% CaO) som krävs för att höja pH-värdet en enhet (här benämnt buffringsförmåga). Denna siffra

är kopplad till lerhalt och mullhalten, och är oberoende av aktuellt pH-värde (metoden är beskriven av Gustafsson, 1999). För att beräkna den exakta kalkgivan multipliceras önskad pH-höjning med angiven buffringsförmåga.

Tabell 3. Behov av P, K, Cu och Mg enligt beräknade medelvärden för respektive brukningszon samt medelvärdet för skiftet. I stället för kalkbehov anges buffringsförmåga.

	Buffrings- förmåga ¹ (ton kalk ha ⁻¹)	Fosfor- behov (kg ha ⁻¹)	Kalium- behov (kg ha ⁻¹)	Koppar- behov (kg ha ⁻¹)	Magnesium- behov (kg ha ⁻¹)	K/Mg- kvot
10 zon 1	5,79	25,8	53,0	3,6	71,8	3,36
10 zon 2	7,31	27,0	45,0	5,0	20,3	2,15
10 zon 3	9,14	28,6	38,1	1,4	0,0	1,44
medel 10	7,31	27,0	45,7	3,6	15,3	2,01
21 zon 1	12,05	30,8	33,4	0,0	0,0	1,19
21 zon 2	14,84	32,4	22,9	0,0	0,0	0,78
21 zon 3	17,71	28,3	7,5	0,0	0,0	0,88
medel 21	13,74	31,1	26,4	0,0	0,0	0,95
34 zon 1	17,51	30,0	0,0 ²	0,0	0,0	0,67
34 zon 2	19,57	30,3	0,0 ²	0,0	0,0	0,54
34 zon 3	20,28	32,2	0,0 ²	0,0	0,0	0,43
medel 34	19,30	31,0	0,0 ²	0,0	0,0	0,51

¹ Buffringsförmågan indikerar den mängd kalk som krävs för att höja pH med en enhet. Detta anges eftersom kalkbehovet på de aktuella fälten är noll p g a att pH-värdena redan var tillräckligt höga.

² Vid beräkning av kaliumbehov som baseras enbart på K-AL-nivåerna är behovet här noll. Notera dock att K/Mg-kvoten är avsevärt < 1 vilket kan indikera ett K-behov.

Det är av intresse att dels jämföra angivna värden mellan brukningszonerna och dels att jämföra skiftets medelbehov med brukningszonerna. Detta säger något om den eventuella praktiska och ekonomiska betydelse som en indelning i brukningszoner enligt föreliggande metodik skulle ha.

Kalk

Vi kan notera att det är avsevärda skillnader i buffringsförmåga mellan skiftena. Detta beror på att lerhalten varierar kraftigt (Bilaga C1). Om man gör antagandet att pH-värdet generellt skulle behöva höjas med en halv pH-enhet på skifte 10, kan vi beräkna att medelkalkåtgången skulle bli ca 3,6 ton/ha. Om man i stället använder brukningszonernas värden varierar kalkbehovet mellan 2,9 och 4,5 ton/ha. Skillnaderna är inte så stora, men det är tydligt att vi skulle sprida i genomsnitt 0,7 ton kalk/ha i onödan i brukningszon 1 (som är 10,5 ha). Om man antar att kostnaden för kalkspridning är 400:- per ton blir detta en onödig kostnad på närmare 3000:- om medelgivan för fältet används. Då har vi inte beaktat eventuella negativa konsekvenser på grund av att skiftets medelgiva i genomsnitt skulle ge 0,9 ton kalk ha⁻¹ för lite i brukningszon 3.

Fosfor

Skillnaderna i fosforbehov är små, både mellan brukningszonerna och mellan skiftena. Det minsta värdet (i kg P ha⁻¹) är 26 (zon 1 skifte 10) och det högsta är 32 (zon 2 skifte

21). Medelgivan för skiftet tycks i fallet fosfor fungera i stort lika bra som om en indelning i brukningszoner görs.

Kalium

För kalium är skillnaderna betydligt större än för fosfor. För skifte 10 är behovet i snitt ca 45 kg ha⁻¹. Här avviker behovet i de olika brukningszonerna med ca 8 kg K ha⁻¹ (38 kg K ha⁻¹ i zon 1, 45 i zon 2 och 53 i zon 3). För skifte 21 är skillnaden mellan zon 1 och zon 3 så mycket som 25 kg K ha⁻¹. Om skiftets medelgiva för fält 21 tillämpas i zon 3 ger det ett överskott på 20 kg K ha⁻¹. Nu är denna zon 3 relativt liten (ca 6 ha) men det är ändå ett betydande, onödigt överskott.

För skifte 34 är det beräknade kaliumbehovet noll. Här är dock K/Mg-kvoten så låg att K-gödsling ändå kan vara att rekommendera, kanske särskilt i zon 3 där kvoten endast är 0,4. En kvot på mellan 1 och 3 rekommenderas.

Koppar och magnesium

Det är endast för skifte 10 som det kan påvisas behov av koppar och magnesium. I zon 3 är kopparbehovet 1,4 kg ha⁻¹ medan det är 5 kg ha⁻¹ i zon 2. För magnesium är medelbehovet för skiftet 15 kg ha⁻¹. Här är avvikelserna mycket stora; det beräknade behovet i zon 1 (10,5 ha) är över 70 kg ha⁻¹ medan inget behov föreligger i zon 3 (10 ha). Ofta tillförs Mg via kalkning. Som nämnts ovan, saknas dock kalkbehov i det här fallet.

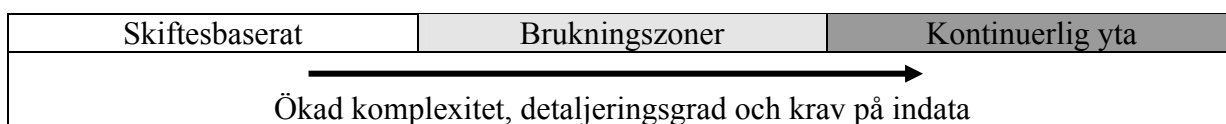
Slutsatser

Detaljerad konduktivitetsskartering av enskilda fält är idag enkelt att utföra. På de undersökta fälten fanns en samvariation mellan konduktivitet och flera av de parametrar som analyseras vid en vanlig markskartering. De brukningszoner som skapades med utgångspunkt från en konduktivitetsskartering visade sig ha betydande skillnader i jordart och näringsinnehåll.

Även skördenivån varierade mellan brukningszonerna. Det var dock inte samma zon som alltid hade högst eller lägst skörd. När det gäller näringsbehovet inom de olika zonerna varierade behovet av K, Mg och Cu påtagligt. Även hos buffringsförmågan, vilken styr kalkbehovet, fanns en avsevärd variation. Däremot var P-behovet relativt likartat både mellan olika zoner inom ett skifte och mellan olika skiften. Så för de undersökta skiftena tyder detta på att vinsterna av en indelning i brukningszoner kontra en skiftesbaserad odling är försumbara när det gäller fosfor med den variation i P-tillståndet som finns här.

Man bör ta i beaktande att fälten i denna redogörelse ej nödvändigtvis är representativa för skiften i allmänhet. Det är förhållandevis stora lerhaltsvariationer inom fälten, vilket kan indikera att konduktivitetsmätning lämpar sig särskilt väl som en metod för indelning i brukningszoner. Sammantaget tycktes de största vinsterna med brukningszoner kunna göras på skifte 10, ett fält med både lättjord och leriga områden.

I det här arbetet gjordes in indelning av varje skifte i tre zoner. Det är inte givet att detta är det optimala. Det vore lämpligt att studier genomförs som dels undersöker hur man bäst (metodmässigt) utför en sådan indelning och dels effekten av indelning i färre eller fler zoner. Det är även viktigt att man jämför vilka variabler som kan vara lämpliga att basera indelningen på. Det är möjligt att andra variabler, såsom topografi, kan fungera väl så bra som konduktivitet i vissa situationer.



Figur C5. Brukningszoner kan ses som en kompromiss mellan den traditionella skiftesbaserade växtodlingen och den fullt tillämpade precisionsodlingen (anpassat efter McBratney & Taylor, 1999).

Brukningszoner kan vara ett bra alternativ för den som vill börja tillämpa en form av precisionsodling, men som av olika skäl inte vill satsa fullt ut och styra appliceringen av insatsmedel anpassat på varje liten del av fältet (Figur C5). Kostnaden bör bli lägre än i det senare fallet eftersom t ex jordprovtagningen inte nödvändigtvis måste göras lika fullständig. I princip skulle det räcka med ett jordprov per zon förutsatt att det är ett samlingsprov bestående av ett stort antal stick som är representativt för hela zonen. Man måste dock vara medveten om att man i så fall inte har någon kännedom om den eventuella variationen som kan finnas inom zonen, vilket kan medföra felaktiga beslut ifråga om t ex gödsling. Förslagsvis genomförs en mer ingående studie som jämför kostnads- och nyttoeffekter för skiften med olika egenskaper och då skilda odlingsstrategier tillämpas. Målsättningen bör vara att jordbrukaren och rådgivaren på ett tydligt sätt ska kunna bedöma vilken strategi som är bäst lämpad i det enskilda fallet.

Bilaga C1. Sammanfattande statistik för zoner och skiften.

Sammanfattande statistik för jord- och skörde-data (totalt och per delområde enligt EM-klass) för skifte 10.

Variabel	Brukn.zon	n	medel	std avv	min	max	max-min
Ler [%]	1	37	5,7	1,239	4	9	5
	2	54	9,0	5,256	4	26	22
	3	31	15,6	9,458	4	30	26
	total	122	9,7	6,979	4	30	26
Mull [%]	1	37	2,28	0,668	1,3	3,5	2,2
	2	54	3,22	0,623	1,6	4,9	3,3
	3	31	4,00	0,893	2,3	5,2	2,9
	total	122	3,13	0,959	1,3	5,2	3,9
pH	1	37	6,35	0,077	6,1	6,5	0,4
	2	54	6,36	0,096	6,2	6,6	0,4
	3	31	6,36	0,084	6,2	6,5	0,3
	total	122	6,36	0,087	6,1	6,6	0,5
P-AL [mg 100 ⁻¹ g]	1	37	6,09	1,416	3,6	10,0	6,4
	2	54	5,55	1,695	2,9	13,0	10,1
	3	31	4,85	1,305	3,2	8,1	4,9
	total	122	5,54	1,577	2,9	13,0	10,1
K-AL [mg 100 ⁻¹ g]	1	37	5,40	1,103	3,3	8,6	5,3
	2	54	7,16	2,075	4,1	14,0	9,9
	3	31	8,71	2,415	3,6	13,0	9,4
	total	122	7,02	2,289	3,3	14,0	10,7
K-HCl [mg 100 ⁻¹ g]	1	37	46,2	8,767	29	68	39
	2	54	66,6	31,766	37	175	138
	3	31	98,9	47,059	43	190	147
	total	122	68,7	37,473	29	190	161
Mg-AL [mg 100 ⁻¹ g]	1	37	1,61	0,377	1,1	3,1	2,0
	2	54	3,32	1,994	1,4	10,0	8,6
	3	31	6,03	3,829	1,7	15,0	13,3
	total	122	3,50	2,857	1,1	15,0	13,9
Cu-HCl [mg 100 ⁻¹ g]	1	37	5,57	1,455	2,9	7,9	5,0
	2	54	5,01	2,137	2,5	11,0	8,5
	3	31	6,43	2,996	2,3	12,0	9,7
	total	122	5,54	2,277	2,3	12,0	9,7
Skörd 2000 [relativ]	1	252	0,948	0,112	0,70	1,28	0,58
	2	374	1,016	0,150	0,68	1,44	0,76
	3	238	1,031	0,141	0,64	1,31	0,67
	total	864	1,000	0,141	0,64	1,44	0,80
Skörd 1999 [relativ]	1	48	1,090	0,097	0,85	1,27	0,42
	2	104	1,017	0,120	0,71	1,26	0,54
	3	51	0,881	0,152	0,52	1,11	0,59
	total	203	1,000	0,144	0,52	1,27	0,75
Skörd 1997 [relativ]	1	157	1,015	0,082	0,83	1,28	0,45
	2	211	0,985	0,066	0,83	1,17	0,34
	3	47	1,017	0,086	0,87	1,24	0,37
	total	415	1,000	0,076	0,83	1,28	0,45

Bilaga C

Sammanfattande statistik för jord- och skördedata (totalt och per delområde enligt EM-klass) för skifte 21.

Variabel	Brukn.zon	n	medel	std avv	min	max	max-min
Ler [%]	1	25	22,4	6,028	9	31	22
	2	17	30,6	5,885	19	40	21
	3	6	34,3	7,146	27	45	18
	total	48	26,9	7,637	9	45	36
Mull [%]	1	25	2,91	0,861	1,7	4,9	3,2
	2	17	1,89	0,855	1,0	4,1	3,1
	3	6	1,20	0,740	0,3	2,2	1,9
	total	48	2,34	1,046	0,3	4,9	4,6
pH	1	25	6,52	0,115	6,3	6,7	0,4
	2	17	6,66	0,173	6,3	6,9	0,6
	3	6	6,77	0,121	6,6	6,9	0,3
	total	48	6,60	0,164	6,3	6,9	0,6
P-AL [mg 100 ⁻¹ g]	1	25	3,87	1,120	2,3	6,6	4,3
	2	17	3,22	0,926	1,9	5,8	3,9
	3	6	4,97	2,780	2,4	10,0	7,6
	total	48	3,78	1,433	1,9	10,0	8,1
K-AL [mg 100 ⁻¹ g]	1	25	9,74	3,176	4,3	18,0	13,7
	2	17	12,08	1,998	8,4	15,0	6,6
	3	6	15,50	5,128	11,0	22,0	11,0
	total	48	11,29	3,615	4,3	22,0	17,7
K-HCl [mg 100 ⁻¹ g]	1	25	206,5	79,020	58	374	316
	2	17	308,8	72,699	178	430	252
	3	6	405,7	109,416	303	572	269
	total	48	267,6	106,285	58	572	514
Mg-AL [mg 100 ⁻¹ g]	1	25	8,17	3,165	2,9	15,0	12,1
	2	17	15,46	6,794	6,4	29,0	22,6
	3	6	17,67	7,554	12,0	30,0	18,0
	total	48	11,94	6,566	2,9	30,0	27,1
Cu-HCl [mg 100 ⁻¹ g]	1	25	9,86	3,033	4,3	16,0	11,7
	2	17	14,12	3,223	8,6	19,0	10,4
	3	6	17,67	4,179	13,0	23,0	10,0
	total	48	12,34	4,258	4,3	23,0	18,7
Skörd 2000 [relativ]	1	456	1,041	0,129	0,49	1,31	0,82
	2	241	0,935	0,149	0,45	1,20	0,75
	3	104	0,971	0,108	0,50	1,14	0,64
	total	801	1,000	0,141	0,45	1,31	0,86
Skörd 1999 [relativ]	1	652	1,034	0,145	0,40	1,44	1,04
	2	349	0,945	0,185	0,44	1,29	0,85
	3	147	1,001	0,128	0,67	1,38	0,71
	total	1160	1,000	0,164	0,40	1,44	1,04
Skörd 1997 [relativ]	1	379	0,990	0,095	0,63	1,33	0,70
	2	233	1,012	0,096	0,59	1,33	0,74
	3	118	1,013	0,087	0,77	1,34	0,57
	total	735	1,000	0,095	0,59	1,34	0,75

Bilaga C

Sammanfattande statistik för jord- och skördedata (totalt och per delområde enligt EM-klass) för skifte 34.

Variabel	Brukn.zon	n	medel	std avv	min	max	max-min
Ler [%]	1	24	39,0	6,808	17	49	32
	2	27	49,7	5,877	35	60	25
	3	36	53,0	6,026	37	62	25
	total	87	48,1	8,465	17	62	45
Mull [%]	1	24	2,19	0,699	0,4	3,7	3,3
	2	27	2,80	0,551	1,7	3,7	2,0
	3	36	3,22	0,617	2,0	4,6	2,6
	total	87	2,81	0,745	0,4	4,6	4,2
pH	1	24	6,87	0,101	6,7	7,0	0,3
	2	27	6,92	0,142	6,4	7,2	0,8
	3	36	6,97	0,098	6,7	7,1	0,4
	total	87	6,93	0,120	6,4	7,2	0,8
P-AL [mg 100 ⁻¹ g]	1	24	4,22	1,257	2,6	7,2	4,6
	2	27	4,11	0,935	2,9	6,3	3,4
	3	36	3,31	0,932	2,0	5,6	3,6
	total	87	3,81	1,105	2,0	7,2	5,2
K-AL [mg 100 ⁻¹ g]	1	24	20,25	5,076	14,0	34,0	20,0
	2	27	23,33	3,385	18,0	35,0	17,0
	3	36	22,78	2,030	20,0	27,0	7,0
	total	87	22,25	3,692	14,0	35,0	21,0
K-HCl [mg 100 ⁻¹ g]	1	24	376,6	66,202	167	497	330
	2	27	419,7	40,477	346	502	156
	3	36	429,7	39,797	335	494	159
	total	87	412,0	53,031	167	502	335
Mg-AL [mg 100 ⁻¹ g]	1	24	30,03	9,153	9,7	48,0	38,3
	2	27	43,22	7,822	29,0	60,0	31,0
	3	36	52,75	6,805	38,0	68,0	30,0
	total	87	43,53	12,093	9,7	68,0	58,3
Cu-HCl [mg 100 ⁻¹ g]	1	24	12,96	1,083	11,0	15,0	4,0
	2	27	15,00	1,441	13,0	18,0	5,0
	3	36	14,61	1,358	11,0	17,0	6,0
	total	87	14,28	1,545	11,0	18,0	7,0
Skörd 2000 [relativ]	1	191	1,007	0,066	0,82	1,14	0,32
	2	209	0,990	0,051	0,86	1,14	0,28
	3	226	1,004	0,043	0,87	1,12	0,25
	total	626	1,000	0,054	0,82	1,14	0,32
Skörd 1997 [relativ]	1	100	1,012	0,272	0,41	1,77	1,36
	2	142	0,971	0,278	0,37	1,57	1,20
	3	182	1,016	0,288	0,38	1,54	1,16
	total	424	1,000	0,281	0,37	1,77	1,40
Skörd 1996 [relativ]	1	186	1,031	0,055	0,80	1,18	0,38
	2	202	0,985	0,053	0,80	1,18	0,38
	3	221	0,989	0,053	0,85	1,12	0,27
	total	612	1,000	0,057	0,80	1,18	0,38

Förteckning över rapporter utgivna av Avdelningen för precisionsodling i serien *Precisionsodling Sverige, Tekniska rapporter*:

1. Nyberg, A., Börjesson, T. och Gustavsson, A-M., 2004. Bildanalys för bedömning av klöverandel i vallar – Utvärdering av TrefoilAnalysis
2. Börjesson, T., Åstrand, B., Engström, L. och Lindén, B., 2005. Bildanalys för att beskriva beståndsstatus i höstraps och höstvet och ogräsförekomst i vårsäd
3. Delin, S.(red.), 2005. Verksamhetsberättelse för Precisionsodling Sverige (POS) 2003-2004.
4. Delin, S.(red.), 2006. Verksamhetsberättelse för Precisionsodling Sverige, POS, 2005.
5. Delin, S.(red.), 2006. Dokumentation från seminariet ”Precisionsodling - avstämning av verksamhet och vision hos olika aktörer”, Skara den 19 april 2006
6. Söderström, M., 2006. PrecisionWizard – gör styrfiler till FarmSiteMate och Yara N-Sensor.
7. Söderström, M., och Nissen, K., 2006. Insamling av GIS-data och navigering med GPS
8. Engström, L., Börjesson, T och Lindén, B. 2007. Beståndstäthet tidigt på våren i höstvet – samband med skörd, topografi, förrådskalium och biomassa (Yara N-sensor- och NIR-mätningar)
9. Delin, S.(red.), 2007. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2006.
10. Söderström, M., Wijkmark, L., Martinsson, J. och Nissen, K., 2008. Avstånd mellan körspår – en jämförelse mellan traditionell spårmarkör och autostyrning med GPS.
11. Söderström, M., Gruvaeus, I. och Wijkmark, L., 2008. Gammastrålningsmätning för detaljerad kartering av jordarter inom fält
12. Söderström, M., 2008. PrecisionWizard 3 – hantera precisionsodlingsdata och gör egna styrfiler till Farm Site Mate och Yara N-Sensor .
13. Börjesson, T., Lorén, N., Larsolle, A., Söderström, M., Nilsson, J. och Nissen, K. 2008. Bildanalys som redskap för platsspecifik ogräsbekämpning .
14. Lundström, C. (red); 2008. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2007 .

Förteckning över rapporter utgivna av Institutionen för jordbruksvetenskap Skara i serien *Precisionsodling Sverige, Tekniska rapporter* (ISSN:1651-2804):

1. Börjesson, T, Ivarsson, K., Engquist, A., Wikström, L. 2002. Kvalitetsprognoser för brödvete och malkorn med reflektansmätning i växande gröda.
2. Börjesson, T., Nyberg, A., Stenberg, M. och Wetterlind, J. 2002. Handburen Hydro sensor i vall -prediktering av torrsubstansavkastning och kvalitetsegenskaper.
3. Söderström, M. (red.). 2003. Precisionsodling Sverige 2002, Verksamhetsberättelse från arbetsgrupperna.
4. Jonsson, A. och Söderström, M. 2003. Precisionsodling - vad är det?

5. Nyberg, A., Lindén, B., Wetterlind, J. och Börjesson, T. 2003. Precisionsodling av vall: Mätningar med en handburensensor i vallförsök med nötflytgödsel på Tubbetorp i Västergötland, 2002.
6. Nyberg, A., Stenberg, M., Börjesson, T. och Stenberg, B. 2003. Precisionsodling av vall: Mätningar i växande vall med ett bärbart NIR-instrument – en pilotstudie.

Förteckning över rapporter utgivna av Institutionen för jordbruksvetenskap Skara i serien *Precisionsodling i Väst, Tekniska rapporter*:

1. Rapport från en studieresa till norra Tyskland.
2. Thylén, L & Algerbo, P-A. Teknik för växtplatsanpassad odling.
3. Seminarium och utställning i Skara den 10 mars 1998.
4. Delin, S. 2000. Hantering av geografiska data inom ett jordbruksfält.
5. Lundström, C. Delin, S. och Nissen, K. 2000. Precisionsodling - teknik och möjligheter.

AGROVÄST-projektet *Precisionsodling Sverige* syftar till att utveckla och tillämpa användbara metoder inom precisionsodlingen till nytta för det praktiska jordbruket.

I projektet arbetas med precisionsodling i form av utvärdering och tolkning av samt teknik för markkartering, kalkning, gödsling, bestämning av mark- och grödegenskaper, växtskydd samt miljöeffekter av precisionsodling.

Projektet genomförs i ett samarbete mellan bl.a. Svenska Lantmännen, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Svalöf Weibull AB, Yara AB, hushållningssällskap Och Institutet för jordbruks- och miljöteknik (JTI).

Distribution:

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för mark och miljö
Precisionsodling och pedometri
Box 234, 532 23 SKARA

Internet: <http://po-mv.slu.se>
<http://www.agrovast.se/precision>